

Aus dem Lehrstuhl für Chirurgie
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg
Vorstand: Prof. Dr. H.J. Schlitt

Komplette endovaskuläre Therapie thorakoabdomineller Aneurysmata mit Stentprothesen mit
Seitenarmen
Evaluation neuer Ansätze zur Reduktion und Prädiktion des Risikos der spinalen Ischämie

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Medizinischen Fakultät
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Konstantinos Gallis

2017

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Piotr Kasprzak

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Christof Schmid

Tag der mündlichen Prüfung: 21.06.2017

Diese Arbeit ist meinen Eltern gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungen.....	8
1. Einleitung.....	9
1.1 Vorgeschichte.....	9
1.1.1 Definition	9
1.1.2 Historischer Rückblick	9
1.2 Anatomie der Aorta.....	10
1.3 Anatomie der Durchblutung des Rückenmarks	12
1.4 Konzept des kollateralen spinalen Netzwerks	13
1.5 Epidemiologie	14
1.6 Ätiologie.....	14
1.7 Klassifikation	14
1.8 Natürlicher Verlauf	15
1.9 Indikation zur Operation	16
1.10 Therapieoptionen	16
1.11 Fragestellung.....	17
2. Material und Methoden.....	18
2.1 Studiendesign	18
2.2 Profile der Patienten.....	18
2.3 Endovaskuläre Technik.....	19
2.4 TASP Gruppe.....	20
2.5 Analyse der sichtbaren segmentalen Arterien in der überstenteten Aorta	20
2.6 Endpunkte der Studie	22
2.7 Neurologische Evaluation	22
2.8 Postoperative Evaluation.....	23
3. Ergebnisse	24
3.1 Charakterisierung der Studienpopulation.....	24
3.2 Die Risikofaktoren	24
3.3 Aneurysma-Parameter.....	25
3.4 Gefäßchirurgische Anamnese	25
3.5 Anzahl der Seitenarme der Endoprothesen.....	25
3.6 Technischer Erfolg.....	26

3.7 Offen belassener TASP-Seitenarm	26
3.8 Narkose	27
3.9 Zeitintervall.....	27
3.10 Komplikationen.....	28
3.11 Fehlende Komplettierung der operativen Therapie in der TASP- Gruppe	29
3.12 Zerebrale Ischämie	29
3.13 Dauer der Behandlung	30
3.14 Endoleackage	30
3.15 Infarkte der Bauchorgane.....	31
3.16 Spinale Ischämie	32
3.17 Bedeutung der postoperativen Endoleckagen für das Auftreten neurologischer Komplikationen.....	33
3.18 Resultate der Evaluation der spinalen segmentalen Arterien.....	33
4. Diskussion	37
5. Zusammenfassung.....	40
5.1. Hintergrund	40
5.2. Methoden	40
5.3. Ergebnisse	40
5.4. Schlussfolgerung.....	40
6. Literaturverzeichnis	41
7. Danksagung.....	48
8. Erklärung	49

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: GEBRANChte THORAKOABDOMINELLE PROTHESE MIT RENOVISZERALEN SEITENARMEN.....	10
ABBILDUNG 2: TOPOGRAPHISCHE ANATOMIE DER AORTA UND IHRER ÄSTE	12
ABBILDUNG 3: ABGÄNGE DER INTERKOSTALARTERIEN IN HÖHE DER AORTA THORAKALIS.	13
ABBILDUNG 4: EIN SCHEMATISCHES DIAGRAMM DER BLUTVERSORGUNG VOM RÜCKENMARK	14
ABBILDUNG 5: CRAWFORD KLASSEFİKATION DER THORAKOABDOMINELLEN ANEURYSMEN,.....	15
ABBILDUNG 6: ZAHL DER PATIENTEN, DIE JÄHRLICH WÄHREND DES BEOBACHTUNGSZEITRAUMOPERİERT WURDEN.	19
ABBILDUNG 7: PRÄOPERATIVE AXIALE DARSTELLUNG DER THORAKALEN AORTA.....	21
ABBILDUNG 8: AXIALE DARSTELLUNG DER THORAKALEN AORTA IN GLEICHER HÖHE DER TASP PHASE	21
ABBILDUNG 9: POSTOPERATIVE KONTROLLE NACH KOMPLETTIERUNG DER THERAPIE.....	22
ABBILDUNG 10: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER REDUZIERUNG DER SA IN DER NON-TASP GRUPPE.....	35
ABBILDUNG 11: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER REDUZIERUNG DER SA IN DER TASP GRUPPE	35

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: MODIFIZIERTE TARLOV'S SKALA ZUR KLASSIFIKATION DER SPINALEN ISCHÄMIE ⁶¹	23
TABELLE 2: GESCHLECHT UND MITTLERES ALTER DER PATIENTEN	24
TABELLE 3: VERTEILUNG DER RISIKOFAKTOREN ZWISCHEN BEIDEN GRUPPEN	24
TABELLE 4: VERTEILUNG DER PATIENTEN NACH CRAWFORD - KLASSIFIKATION	25
TABELLE 5: VERTEILUNG DES ANEURYSMADURCHMESSERS IN BEIDEN GRUPPEN	25
TABELLE 6: AORTENEINGRIFFE IN DER ANAMNESE.....	25
TABELLE 7: ANZAHL DER SEITENARME IN BEIDEN GRUPPEN	26
TABELLE 8: ERFOLGSRATE DER SONDIERUNG UND ÜBERBRÜCKUNG DER ZIELGEFÄßE	26
TABELLE 9: VERWENDETE SEITENARME FÜR DIE TEMPORÄRE ANEURYSMA PERFUSION(TASP)	27
TABELLE 10. ART DER NARKOSE	27
TABELLE 11: AUFGETRETENE KOMPLIKATIONEN IN BEIDEN GRUPPEN	28
TABELLE 12: MORBIDITÄT-MORTALITÄT INNERHALB BEIDER GRUPPEN	29
TABELLE 13: POSTOPERATIVE SCHLAGANFÄLLE.....	30
TABELLE 14: DAUER DER BEHANDLUNG	30
TABELLE 15: HÄUFIGKEIT VON ENDOLEACKAGEN.....	30
TABELLE 16: AUFTEILUNG DER ENDOLEACKAGEN IN BEIDEN GRUPPEN	31
TABELLE 17: INFARKTE DER BAUCHORGANE.....	31
TABELLE 18: PRÄSENTATION DER HÄUFIGKEIT DER SPINALEN ISCHÄMIE IN BEIDEN GRUPPEN UND IN SUBGRUPPEN.....	32
TABELLE 19: EINFLUSS AUSGEWÄHLTER FAKTOREN AUF DIE PRÄVALENZ EINER SCHWEREN SPINALEN ISCHÄMIE	33
TABELLE 20: EINFLUSS DER ENDOLEACKAGE AUF DAS AUFTRETEN EINER SCHWEREN SPINALEN ISCHÄMIE IM GESAMTEN KOLLEKTIV UND IN DEN BEIDEN GRUPPEN.....	33
TABELLE 21: CHARAKTERISTIKA DER PATIENTEN MIT EVALUATION DER SPINALEN SEGMENTARTERIEN.....	34
TABELLE 22: VERGLEICH DER ZAHL DER SA ZU VERSCHIEDENEN ZEITPUNKTEN INSGESAMT UND INNERHALB DER GRUPPEN	34
TABELLE 23: KORRELATION ZWISCHEN ANZAHL DER SA PRÄOPERATIV UND DEM EREIGNIS EINER SCHWEREN ISCHÄMIE IN DER NON-TASP GRUPPE	36

Abkürzungen

Formelgrößen wurden mit den international gebräuchlichen SI-Einheiten bezeichnet.

1. AMS: Arteria mesenterica superior
2. BEVAR: gebranchte endovaskuläre Aortenstentprothese
3. COPD: chronisch obstruktive Lungenerkrankung
4. MSCTA /CTA: Mehrzeilen-Spiral Computertomographie-Angiographie
5. DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine
6. DSA: digitale Subtraktionsangiographie
7. ePTFE: expandiertes Polytetrafluorethylen
8. GFR: Glomeruläre Filtrationsrate
9. KHK: Koronare Herzkrankheit
10. MD: Mitteldruck
11. NI: Niereninsuffizienz
12. pAVK: peripheren arteriellen Verschlusskrankheit
13. RM: Rückenmark
14. ROC: Receiver Operating Characteristic (Grenzwertoptimierungskurve)
15. SA: segmentale Arterien
16. SCI: spinal cord ischemia (spinale Ischämie)
17. TAA: thorakales Aortenaneurysma
18. TAAA: thorakoabdominelles Aortenaneurysma
19. TASP: temporäre Aneurysmasack Perfusion

1. Einleitung

1.1 Vorgeschichte

1.1.1 Definition

Als Aneurysma wird eine permanente und lokalisierte Erweiterung des Gefäßdurchmessers um mindestens 50% seines normalen Durchmessers bezeichnet ¹. Der Durchmesser der infrarenalen Aorta ist abhängig von Alter, Geschlecht und Körperhabitus und beträgt durchschnittlich 2 cm. Als ektasisch/aneurysmatisch wird die Aorta bereits ab einem Querdurchmesser von ≥ 3 cm bezeichnet ¹.

Eine Indikation zur operativen Therapie ist ab einem Querdurchmesser von ≥ 5 cm, der Erweiterung um mehr als das doppelte des nicht erkrankten Aortenabschnitts oder einer Progressrate von 0,5 cm in 6 Monaten gegeben ².

1.1.2 Historischer Rückblick

Im Jahr 1951 wurde erstmals ein Aneurysma der Bauchaorta von Charles Dubost mittels eines homologen Gefäßersatzes erfolgreich operiert ³. 1955 operierten Etheredge et al. erstmals erfolgreich ein Aneurysma mit Beteiligung der renovisceralen Arterien mittels eines in situ aortalen Homografts. Durch die Entwicklung alloplastischer Materialien wie Dacron® (Polyester) oder später expandiertem Polytetrafluorethylen (ePTFE-Teflon) kam es in die Aorten Chirurgie seit den 50er Jahren zum Durchbruch. ⁴. Aber die moderne Ära der operativen Therapie der thorakoabdominellen Aortenaneurysmen (TAAA) wurde erst 1979 von E. Stanley Crawford eingeleitet, als er die offene operative Technik standardisierte (Crawford, 1974) ⁵. Durch diese und weitere Entwicklungen in der Gefäßchirurgie und Anästhesiologie konnte die perioperative Letalität deutlich gesenkt werden und liegt aktuell bei 5-10% ⁶.

Eine minimal invasive endovaskuläre Methode infrarenale Aortenaneurysmen zu behandeln, durch eine transfemorale implantierten Aorten-Stentgraft-Prothese, wurde 1985 durch Volodos et al. beschrieben ^{7,8}. 1991 wurde die Technik in der westlichen Welt durch Parodi et al. etabliert ⁹. Drei Jahre später erfolgte die erste endovaskuläre Behandlung eines isolierten thorakalen Aortenaneurysmas (TAA) durch Dake et al. ¹⁰. 1996 erfolgte die Implantation der ersten fenestrierten endovaskulären Prothese zur Versorgung der thorakoabdominellen Aortenaneurysmen (TAAA), mit kleinen runden Aussparungen (Fenestrierungen) zur Versorgung der renovisceralen Arterien ¹¹. Ein paar Jahre später (2001) wurde die erste endovaskuläre Prothese mit Seitenarmen von Chuter et al. implantiert ¹². Der Unterschied zwischen fenestrierte und gebranchte Prothesen ist, dass Fenestrierungen lediglich eine kurzstreckige Abdichtung renovisceralen Verlängerungen an der Hauptprothese ermöglichen, im Gegensatz zu gebranchten Prothesen, deren Seitenarmen eine längere Abdichtung erlauben.

Heute stehen für die endovaskuläre Therapie des TAAAs eine speziell angefertigte (custom made-Cook®/Jotec®) und eine standardisierte gebranchte Prothese zur Verfügung (T-Branch®) (Cook Australia, Brisbane, Australien)¹³. Häufig besteht dieses Behandlungskonzept aus mehreren Stentprothesen: ein proximaler Teil zur Verankerung an die gesunde thorakale Aorta, ein englumiger viszeraler Teil, an dem sich die Seitenarme für die Verlängerung zu den renoviszeralen Arterien befinden und ein distaler Teil zur Verankerung in der gesunden infrarenalen Aorta oder mit Y-Verlängerung für die iliakalen Arterien. Die Überbrückung der Zielgefäße erfolgt mittels zusätzlicher Implantation so genannter gecoverter Verbindungsstents¹³⁻¹⁵. (Abbildung 1)



Abbildung 1: Thorakoabdominelle Stentprothese mit 4 renoviszeralen Seitenarmen und aorto-iliakaler Verlängerung.

1.2 Anatomie der Aorta

Die Aorta (griechisch αἰρώ „ich hebe“) ist das zentrale arterielle Gefäß des menschlichen Körpers, aus dem alle Arterien des Körperkreislaufes entspringen. Durch sie wird das oxygenierte Blut vom linken Ventrikel in das periphere Gefäßsystem transportiert.

Die Aorta zeigt in Abhängigkeit verschiedener Parameter (Alter, Geschlecht und Körpergröße) einen weitestgehend konstanten Gefäßdurchmesser. In Höhe des Diaphragmas gemessen liegt dieser bei Männern bei 22-29mm, bzw. 18-25mm bei Frauen.^{16,17}

Die Aorta entspringt aus dem linken Ventrikel und verläuft entlang der Wirbelsäule im Thorax bevor sie durch das Zwerchfell in das Abdomen zieht. Dort teilt sie sich in die beiden Beckenarterien (Aa. iliacae communes). In ihrem Verlauf lässt sich die Aorta topografisch in vier verschiedene Abschnitte unterteilen:

Der erste Abschnitt (Aorta ascendens), erstreckt sich über 5-6cm von der Aortenklappe bis zum Abgang des Truncus brachiocephalicus und liegt größtenteils intraperikardial. Der bauchig erweiterte Anfangsteil wird auch Bulbus aortae genannt. Initial hat sie einen bogenförmigen Kontakt mit dem Truncus pulmonalis und später geht sie um die A. pulmonalis dextra. Ihm entspringen die Herzkranzgefäße A. coronaria dextra et sinistra¹⁷.

Die Aorta ascendens setzt sich dann im Arcus aortae fort. Dieser verläuft bogenförmig nach links dorsal um den Bronchus principalis sinister und zieht aus dem mittleren in das hintere Mediastinum. Aus dem Arcus aortae entspringen wichtige Gefäße, die die Blutversorgung des Kopf-Hals-Bereiches und der oberen Extremitäten gewährleisten: zunächst der Truncus brachiocephalicus, der sich im Verlauf weiter in die A. subclavia dextra und die A. carotis communis dextra aufteilt, sowie später die A. carotis communis sinistra und die A. subclavia sinistra¹⁷.

Nach dem Aortenbogen beginnt die Pars descendens aortae. Diese wird wiederum durch das Zwerchfell in zwei verschiedene Abschnitte unterteilt: Pars thoracica und Pars abdominalis. Die Pars thoracica ist die Fortsetzung des Aortenbogens und verläuft zunächst ventrolateral der Brustwirbelkörper, bevor sie ventral des 12. Brustwirbelkörpers durch den Hiatus oesophageus des Zwerchfells in das Abdomen übertritt. In ihrem Verlauf entspringen die parietalen Äste: Aa. intercostales zur Versorgung der Thoraxwand und Aa. radicales zur Versorgung der Brustwirbelkörper und des Rückenmarks. Außerdem entspringen die viszerale Äste: Rr. bronchiales, Rr. oesophagei, Rr. mediastinales, Rr. pericardiaci und Ae. phrenicae superiores. In ihrem Verlauf ist sie vom sympathischen Nervengeflecht und zahlreichen Lymphknoten umgeben¹⁷.

Der letzte Abschnitt der Aorta (Aorta abdominalis) zieht vom Hiatus oesophageus bis vor den 4. Lendenwirbelkörper und teilt sich dort in die beiden Iliacalgefäße. Die A. sacralis mediana bildet die Fortsetzung nach kaudal und entspricht der Schwanzarterie der Säugetiere. Ihrem Verlauf entspringen wieder zahlreiche Gefäße: Unmittelbar kaudal des Zwerchfells entspringen die Aa. phrenicae inferiores zur Versorgung des Zwerchfells. Weiter der Truncus coeliacus, die beiden Aa. mesentericae (superior et inferior) zur Versorgung des Magen-Darm-Traktes und parenchymatöser Organe, sowie die beiden Aa. renales und Aa. suprarenales mediae zur Niere bzw. Nebenniere.

Weitere viszerale Äste sind die Aa. testiculares bzw. ovaricae, die die arterielle Blutversorgung der Gonaden gewährleisten. Die Aae. lumbales sind parietale Abgänge, die die Bauchwand und indirekt, durch ein paraspinales Kollateralnetz, den Rückenmark versorgen.^{16,17} (Abbildung 2)

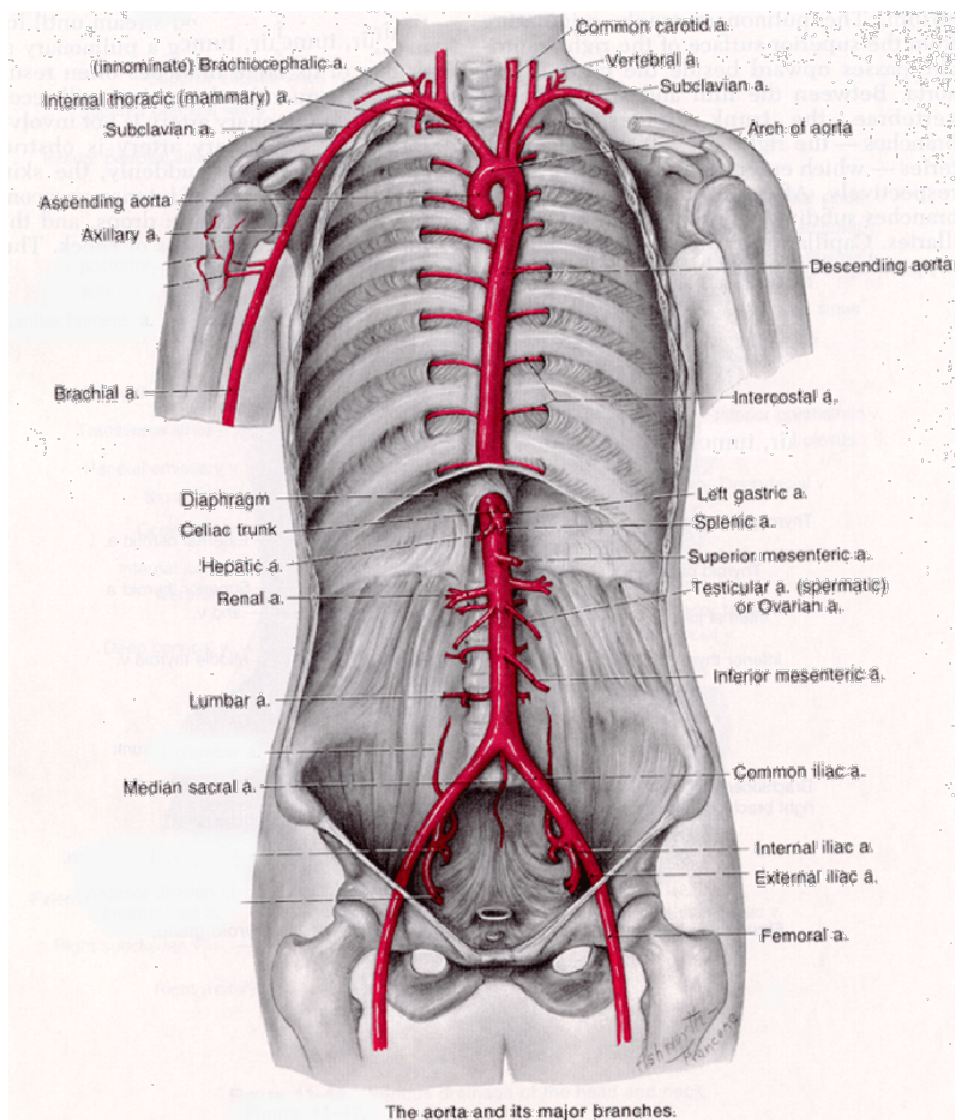


Abbildung 2: Topographische Anatomie der Aorta und ihrer Äste (Gray H. Gray's Anatomy: The anatomical basis of clinical practice. New York: Churchill Livingstone, 2008)

1.3 Anatomie der Durchblutung des Rückenmarks

Das Rückenmark wird durch die längs verlaufenden Arterien, die unpaare A. spinales anterior sowie die paarweise angeordneten Aa. spinales posteriores versorgt. Sie sind durch ein umfangreiches Anastomosennetz miteinander verbunden und erhalten ihre Zuflüsse im Wesentlichen aus den Vertebralarterien und den Aa. cerebelli inferiores posteriores, den Segmentarterien C5 bis C8 sowie der A. radicularis magna^{17,18}. Adamkiewicz berichtete 1882 über eine Interkostalarterie (A. radicularis magna), deren Abgang sich zwischen Th 9 und Th 12 befindet. Diese Arterie ist großlumig und an der Perfusion des Rückenmarks beteiligt¹⁸. Nachdem sich die anteriore Spinalarterie in ihre Endzweige aufteilt, sichern sie die Blutversorgung eines

Großteiles der grauen Substanz sowie der restlichen vorderen 2/3 des Rückenmarks. Die posterioren Spinalarterien gewährleisten die Blutversorgung der dorsalen weißen Substanz und der Hinterhörner des Rückenmarks^{17,18}. Dieses ausgeprägte Netzwerk aus Arteriolen erstreckt sich bis zu den Aa. cerebelli inferiores posteriores. Seine zahlreichen Anastomosen, zwischen der A. spinalis anterior und AA. spinales posteriores, bilden den Pial-Plexus; ein dichtverzweigtes irreguläres Netz von Arteriolen auf der Oberfläche der Pia mater spinalis. (*Abbildung 3*)

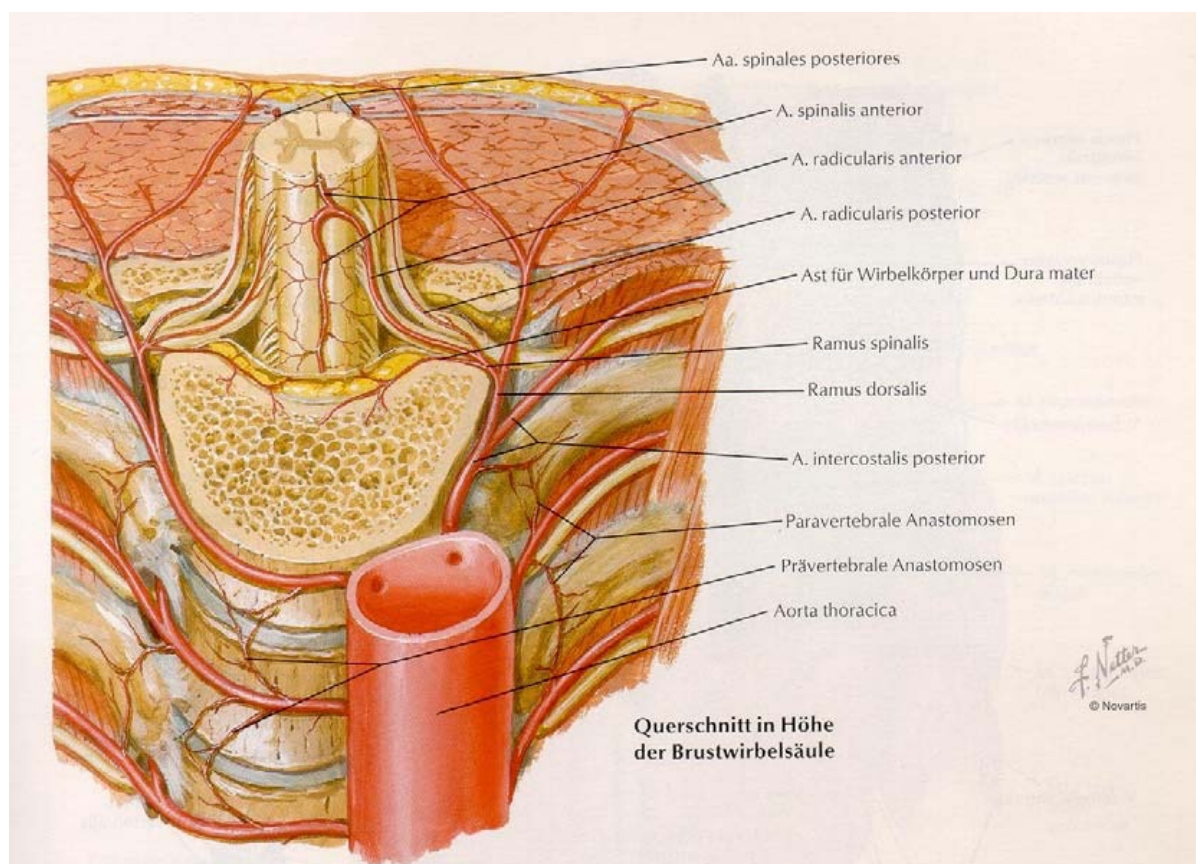


Abbildung 3: Abgänge der Interkostalararterien in Höhe der Aorta thoracalis, aus F.H. Netter: Atlas der Anatomie des Menschen.

1.4 Konzept des kollateralen spinalen Netzwerks

In experimentellen Studien ergeben sich Hinweise, dass zusätzlich zu der beschriebenen Gefäßversorgung ein umfangreiches paraspinales Netz von paraspinalen Arterien, Segmentarterien und dorsalen Ästen der interkostalen und lumbalen Arterien besteht^{18 19}. Diese bilden ein großes axiales Netzwerk, in dem nicht nur die beteiligten Gefäße miteinander anastomosieren, sondern auch Zuflüsse aus der A. subclavia und den A. iliacae internae erhält. So steht jederzeit eine potenzielle Reserve zur Verfügung, falls eine der spinalen Versorgungsquellen versagt. Des Weiteren zeigten experimentelle und klinische Studien, dass bei offener chirurgischer Behandlung die mehrzeitige Behandlung von TAAAs eine positive Wirkung hat, eventuell durch ein rasantes

und kompensatorisches Remodelling, mit Kompensation der bestehenden spinalen Minderperfusion.^{2021,22} (Abbildung 4)

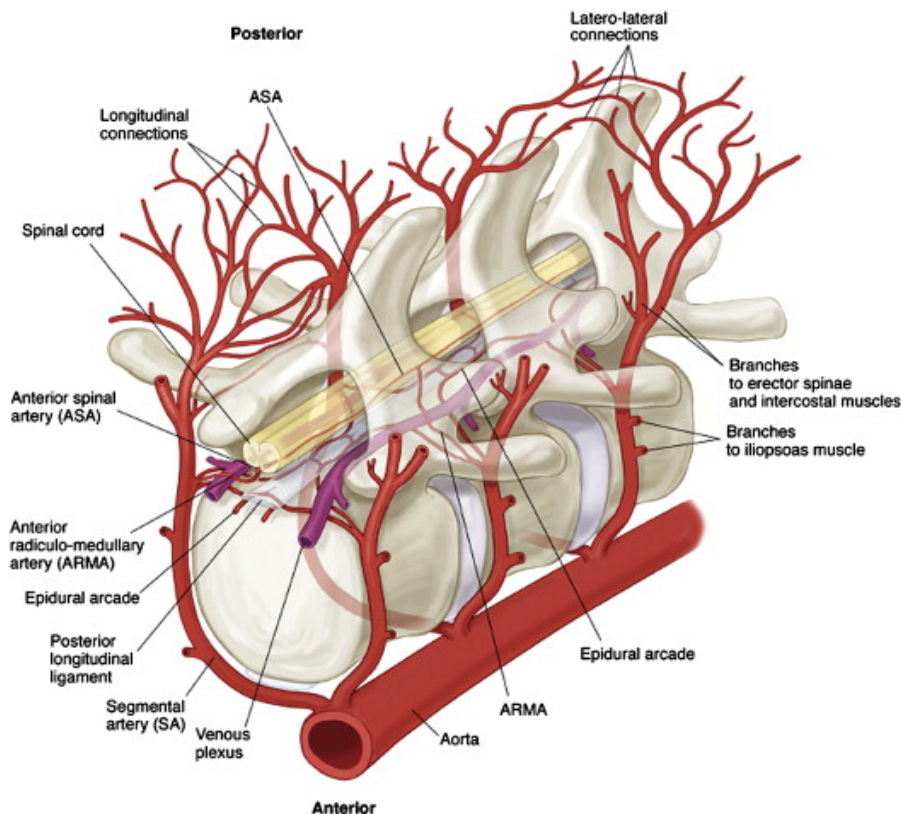


Abbildung 4: Ein schematisches Diagramm der Blutversorgung vom Rückenmark, das die Verbindungen, das Ausmaß und die komplexe Vernetzung zwischen den interkostalen Arterien, den A. radicularis anterior, der Arterie spinalis anterior und den epiduralen Arkaden darstellt.²¹

1.5 Epidemiologie

Die Inzidenz der thorakoabdominellen Aortenaneurysmatas beträgt 1/1000 Einwohner. Das Durchschnittsalter der Patienten mit TAAA liegt bei 65 Jahren²³. Die Patienten haben eine hohe Prävalenz von Komorbiditäten wie z.B. COPD und eine koronare Herzkrankheit (KHK).²³

1.6 Ätiologie

Die Ursache der Bildung eines TAAAs als Folge einer Degeneration der Aortenwand ist nicht vollständig geklärt. Die Hauptursache der aneurysmatischen Erweiterung ist die Atherosklerose in 87% der Fälle²⁴. Bei 13% der Patienten besteht eine vorherige Dissektion der Aorta. Bei einer Minderheit entsteht das TAAA in Folge einer Bindegewebsstörung, genetisch bedingt (Marfan-Syndrom und Ehlers-Danlos Syndrom) oder traumatischer bzw. infektiöser Genese²⁴.

1.7 Klassifikation

Das Ausmaß von TAAA wurde von Crawford in einer Klassifikation zusammengefasst, die weltweite Akzeptanz hat²⁵. Diese unterscheidet vier TAAA-Typen (Abbildung 5)

-Typ I: Das Aneurysma entspringt unmittelbar nach dem Abgang der linken A. subclavia und umfasst die gesamte absteigende thorakale wie auch die proximale abdominelle Aorta, jedoch nicht den Bereich unterhalb der Nierenarterien.

-Typ II: bei diesem Typ betrifft das Aneurysma den größten Abschnitt der thorakalen Aorta und reicht auch in die komplette abdominelle Aorta.

-Typ III: Bei diesem Aneurysma-Typ beginnt die Erweiterung im distalen Abschnitt der thorakalen Aorta (auf Höhe Th 6) und es reicht bis zur Aortenbifurkation.

-Typ IV: Die gesamte abdominelle Aorta vom Diaphragma bis zur aortalen Bifurkation ist aneurysmatisch erweitert.

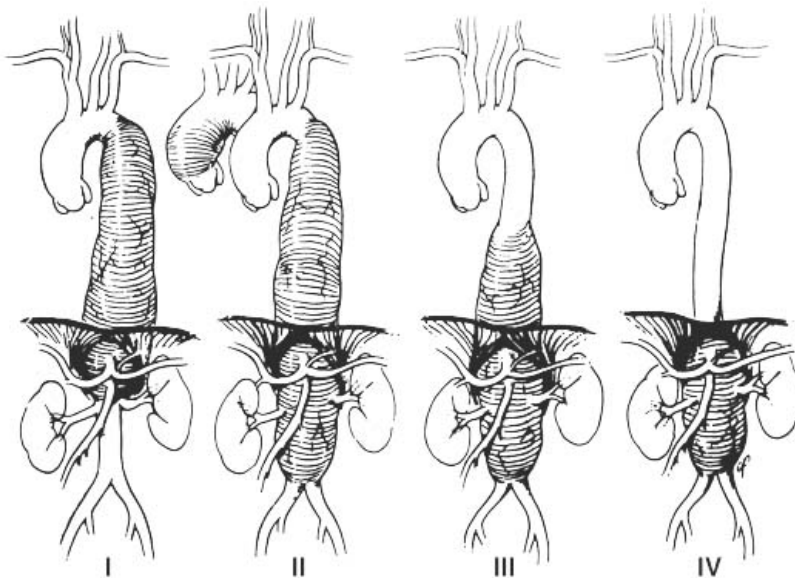


Abbildung 5: Crawford Klassifikation der thorakoabdominellen Aneurysmen, aus Thoracoabdominal and suprarenal abdominal aortic aneurysm. (In Ernst CB, Stanley JC [eds]: Current Therapy in Vascular Surgery. Philadelphia, Decker, 1987, pp 96–98.)

Diese Klassifikation korreliert mit dem häufigen Auftreten peri- und postoperativer Komplikationen wie respiratorische Insuffizienz, Nierenversagen und neurologische Defizite bei ausgedehnten Aneurysmen.²⁶

1.8 Natürlicher Verlauf

Die Prognose von Patienten mit TAAA ist eingeschränkt. Sowohl der Aneurysmadurchmesser als auch Komorbiditäten wie Alter, COPD und Nikotinabusus erhöhen die Gefahr einer Aneurysmaruptur²⁷. In einer Studie von Davies et al. ergab sich ein 5-Jahres-Überleben von nicht operierten Patienten von 54%²⁸. Die Ausdehnung des Aneurysmas war ein wirksamer prognostischer Faktor für Ruptur und Mortalität. Die Patienten mit einem Aorten-Durchmesser von mehr als 6 cm hatten ein 27-fach gesteigertes Quotenverhältnis (Odds Ratio) für eine Ruptur. Die

Prognose der dissezierenden Aneurysmata in dieser Studie war statistisch nicht unterschiedlich im Vergleich zu den nicht-dissezierenden Aneurysmata ²⁸. Die Paraplegie/Paraparese und die Morbidität bei elektiver Sanierung waren deutlich niedriger im Vergleich zu notfallmäßigen Operationen (4% vs. 14% und 6% vs. 17% jeweils)²⁹⁻³¹.

1.9 Indikation zur Operation

Die Indikation zur Behandlung eines TAAAs ergibt sich nicht nur ab einem Durchmesser von 6 cm bei degenerativen Aneurysmen und ab 5 cm bei Patienten mit Marfan Syndrom sondern auch bei einer Größenprogredienz des Durchmessers von $\geq 0,5$ cm in 6 Monaten oder ≥ 1 cm in einem Jahr oder bei einer Verdoppelung des Durchmessers im Vergleich zum Durchmesser im normalen Aortenbereich des gleichen Patienten³². Außerdem besteht eine unmittelbare Indikation zur Sanierung bei symptomatischem TAAA wegen des erhöhten Rupturrisikos ²⁷. Die TAAAs manifestieren sich klinisch typischerweise durch Rückenschmerzen, epigastrische Schmerzen oder Brustschmerzen. In Abhängigkeit von der Lokalisation und Ausdehnung des Aneurysmas können auch unspezifische Symptome bestehen. ³³

1.10 Therapieoptionen

Die offene chirurgische Option gilt bei Patienten mit einer mittleren Lebenserwartung von über 10 Jahren als Goldstandard. Das chirurgische Trauma der Thorakophrenolaparatomie und die Komorbiditäten stellen kombiniert ein bedeutsames Problem dar und wirken sich negativ auf die Ergebnisse nach TAAA-Behandlung aus ³⁴. Fast 2/3 aller TAAA Patienten leiden an einer KHK. Das proximale Crossclamping kann in diesem Patientengut eine erhebliche kardiale Belastung hervorrufen, die zu einer verschlechterten Pumpfunktion führt und folglich zur Erhöhung der Mortalität³⁴.

Zusätzlich ist intraoperativ eine vorübergehende Ein-Lungenbeatmung erforderlich. Dies kann zu zusätzlichen pulmonalen Problemen führen, denn ein großer Teil der Patienten (23-36%) leidet an einer COPD ^{26,35}. Daher kommt es bei diesen Patienten häufiger zu postoperativen pulmonalen Komplikationen ³². Ebenfalls steigt bei schon präoperativ vorbestehender Niereninsuffizienz die Wahrscheinlichkeit für eine temporäre oder permanente Dialysepflichtigkeit, als Folge einer perioperativen Nierenschädigung ³⁶. Das postoperative Paraplegie-Risiko beträgt 4 - 25% und ist v.a. von der Ausdehnung des Aneurysmas abhängig. ³⁷⁻⁴³ Diesbezüglich zeigen neuere Studien dass die Anwendung der Herz-Lunge Maschine das Paraplegierisiko senken kann⁴⁴⁻⁴⁶. Vielversprechend war die Einführung des zweizeitigen Vorgehens zur Reduktion der spinalen Ischämie⁴⁷.

Als Alternativen stehen das Hybrid-Verfahren, eine Kombination der offenen Versorgung der renoviszeralen Arterien und endovaskulären Versorgung der Aorta, und die komplette endovaskuläre Versorgung je nach Ausdehnung des Aneurysmas zur Verfügung. ⁴⁸⁻⁵⁵ Durch ein deutlich geringe-

res chirurgisches Trauma hat sich die komplette Stentgraft-Versorgung als Therapieoption zunehmend etabliert. Hier handelt es sich um die Ausschaltung des thorakoabdominellen Aortenaneurysmas mittels Stentprothesen, die bereits mit Seitenärmchen oder eine Kombination aus Seitenärmchen und Fenestrierungen für die Blutversorgung der renoviszeralen Arterien versehen werden. Allerdings müssen diese noch mit zusätzlichen kleinen Stentgrafts verlängert werden.^{13,56–59} Das Risiko der postoperativen spinalen Ischämie bleibt jedoch unverändert bei 4% bis 25%.^{13,15,60}

1.11 Fragestellung

Ein stufenweises Vorgehen reduziert das Risiko einer postoperativen spinalen Ischämie bei der offenen chirurgischen Behandlung. Ziel dieser Arbeit ist den Einfluss eines mehrzeitigen Vorgehens bei der endovaskulären Versorgung von TAAAs zu untersuchen. Dabei werden folgende Fragestellungen bearbeitet:

- 1→ Wie vergleichen sich die Ergebnisse der endovaskulären Versorgung bei TAAA- Patienten mittels einzeitigem oder zweizeitigem Vorgehen?
- 2→ Kann ein zweizeitiges Vorgehen, mit Belassung einer Aneurysmasackperfusion im Rahmen der Versorgung ausgedehnter TAAAs durch BEVAR die Rückenmarkperfusion kompensieren, Kollateralnetzwerk stimulieren und folglich das Risiko der postoperativen spinalen Ischämie reduzieren?
- 3→ Bleibt während der temporären Aneurysmasackperfusion die Perfusion der Interkostal- und Lumbalarterien erhalten?

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign

In dieser Studie wurden die Ergebnisse der endovaskulären Versorgung der TAAA-Patienten mittels Endoprothesen mit Seitenarmen untersucht, um das Risiko der SCI zu berechnen. Ausgewertet wurden Patienten Charakteristika, Aneurysma-Morphologie, Ergebnis der Aneurysma-Ausschaltung durch die endovaskuläre Versorgung und die Therapie-Ergebnisse im Verlauf. Ein besonderer Schwerpunkt war die Analyse der neurologischen Komplikationen, die vorübergehende und die bleibende Paraplegierate. Es wurden zwei Gruppen, eine mit einzeitigem Vorgehen (non-TASP Gruppe) und eine mit zweizeitigem Vorgehen (TASP Gruppe) analysiert. In 2007 wurde die erste BEVAR in Regensburg durchgeführt und in 2008 wurde erstmals in unserer Klinik bei einem Patienten der Seitenarm für die rechte Nierenarterie vorläufig offen gelassen. Postoperativ kam es zu einer Paraplegie, die jedoch innerhalb weniger Wochen rückläufig war. Daher wurde seit 2009 die TASP Technik als zusätzliche protektive Maßnahme zur Vermeidung der perioperativen SCI angewandt. Die TASP Technik wurde seitdem für jeden TAAA-Fall primär empfohlen, ausgenommen den Patienten, die dies abgelehnten oder Kontraindikationen hatten (siehe Punkt 2.4). Patienten mit symptomatischem oder rupturiertem Aneurysma erhielten eine einstufige endovaskuläre Behandlung und wurden aus dieser Studie ausgeschlossen.

2.2 Profile der Patienten

Einschlusskriterien waren ein Aneurysma-Durchmesser $>5,5$ cm oder eine rasche Größenprogredienz des Durchmessers > 0.5 cm innerhalb von 6 Monaten. Jeder Patient wurde explizit über die Operation sowie die Risiken aufgeklärt und eine schriftliche Einwilligungserklärung eingeholt. Die *Abbildung 6* zeigt die Zahl der Patienten pro Jahr in beiden Therapie-Verfahren, die operiert wurden.

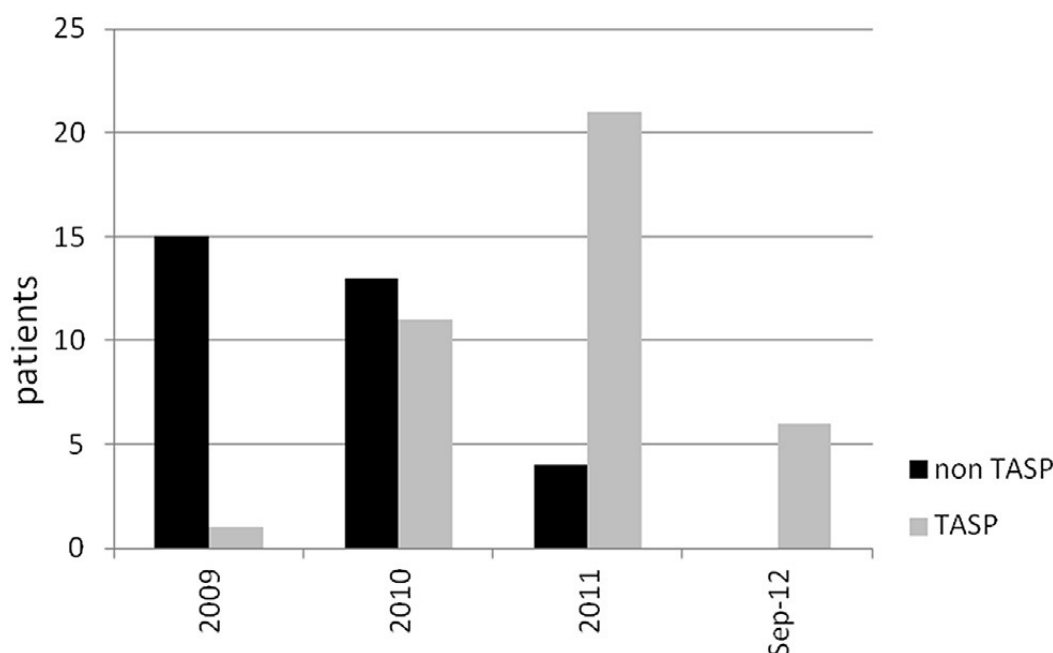


Abbildung 6: Zahl der Patienten, die jährlich während Beobachtungszeitraum operiert wurden. TASP: 2-stufige Therapie, non-TASP: Kontrollgruppe.⁶¹

2.3 Endovaskuläre Technik

Die speziellen endovaskulären Prothesen wurden in Kooperation mit dem COOK Planning Center, Perth, Australia und London, UK geplant und von Cook Endovascular Laboratory (Brisbane, Australien) hergestellt. Bei 73 Patienten wurde eine Prothese mit Seitenarmen implantiert. Zehn Patienten bekamen eine Prothese mit einer Kombination aus Fenestrierungen und Seitenarmen. (drei Patienten in der non-TASP Gruppe und sieben in der TASP Gruppe). Die Operationen wurden anfangs mithilfe eines mobilen C-Bogens (OEC 9900 Elite, GE Paris, Frankreich) und danach in einem Hybrid OP-Saal (Philips, Alura Xper FD 20, Philips Healthcare, DA Best, Niederlande) durchgeführt. Für die Versorgung der Zielgefäße wurden Advanta V12 Stentgrafts (Atrium Medical, Hudson, NH, USA) oder Fluency Plus (C.R. Bard, Angiomed, Karlsruhe, Deutschland) verwendet. Bei Prothesen mit Seitenarmen wurden Stentgrafts mittels Verwendung eines ungecoverten Stents (Wallstent, Boston Scientific, Natick, MA, USA oder Zilver Flex, Cook Medical, Bloomington, IN, USA) zur Vermeidung von Reststenosen oder Abknickungen geschient. (Fenestrierungen wurden lediglich bei ausgeprägtem Kinking mit zusätzlichen ungecoverten Stents versehen.) Bei allen Patienten wurden die Anlage eines spinalen Katheters zur Drainage von Liquor und eine strikte Vermeidung einer Hypotonie perioperativ und postoperativ angestrebt. Der Eingriff wurde über bilaterale Leistenzugänge und einen axillären Zugang links in der Regel durchgeführt. Zunächst erfolgte die Implantation des thorakalen Stentprothese und der gebrachten Stentprothese über die Leiste. Der Eingriff wurde, wenn erforderlich, mittels Implantation einer Rohroprothese oder Bifurkationsprothese infrarenal ergänzt; Freigabe der Strombahn in die Peripherie und anschließend wurde die linke A. subclavia bzw. A. axillaris freigelegt. Nach Anlage

eines Durchzugsdrahtes von der Leiste bis axillär, wurde eine 12-F Schleuse von der Axilla in die Stentprothese eingeführt. Über diese Schleuse erfolgte die sequentielle Katheterisierung und Stentimplantation der Seitenarme und der Zielgefäße.

2.4 TASP Gruppe

In dieser Gruppe wurde - nach komplikationsloser Sondierung und Stentimplantation in die A. mesenterica superior (AMS) und Ae. renales - meistens der Seitenarm für den Truncus coeliacus offen gelassen,. Alternativ wurden ein Seitenarm zur Nierenpolararterie, eine höchststenosierte A. renalis einer hypoplastischen Niere, eine durchgängige A. mesenterica inferior, eine einzelne A. hepatica oder splenica offen belassen, oder der Verzicht auf distale (aortale oder iliakale) Stent-Verlängerung einer Endo-Y-Prothese Verlängerung verwendet mit dem Ziel eine reduzierte Perfusion des Rückenmarks zu erhalten. Kontraindikation für die Verwendung des Truncus coeliacus waren intraoperativ aufgetretene Komplikationen - Dissektion des Hauptstammes oder distaler Äste - während der Sondierung der AMS. Kontraindikation für die Verwendung der A. renalis waren Z.n. Nephrektomie oder ein GFR-Wert <30 ml/min. Kontraindikation für den Verzicht auf eine distale Stent-Verlängerung bei geplanter Endo-Y-Prothese war eine präoperative bekannte hochgradige Stenose der Beckenachse. Die sekundäre Seitenast-Komplettierung wurde innerhalb von vier bis acht Wochen nach dem ersten Eingriff angestrebt.

2.5 Analyse der sichtbaren segmentalen Arterien in der überstenteten Aorta

Wegen der Komplexität der spinalen Perfusion gilt die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) als Standard – Procedere zur Evaluation der segmentalen Arterien ⁶². Alternativ stehen die Mehrzeilen-Spiral-Computertomographische Angiographie (MSCTA) ⁶³ und die contrast-enhanced magnetic resonance angiographie (MRA) ⁶⁴ zur Verfügung. Bei Zustand nach Implantation einer Stentprothese ist allerdings eine direkte Darstellung der überstenteten segmentalen Arterien mittels DSA nicht möglich. Eine Untersuchung mittels MRA ist ebenfalls problematisch aufgrund der Artefakte nach Implantation von Stentprothesen aus Edelstahl. Die MSCTA ist in diesem Patientengut die geeignetere Untersuchung und wurde ausschließlich eingesetzt.

Mit dem Ziel, eine Erklärung für die positive Wirkung der TASP Technik auf das Auftreten der spinalen Ischämie zu finden, haben wir die Anzahl der sichtbaren segmentalen Arterien im überstenteten Bereich der Aorta in beiden Gruppen zu 3 Zeitpunkten – präoperativ, postoperativ sowie während des TASP Intervalls (zwischen den beiden Behandlungsschritten) - ausgerechnet und dokumentiert. Die Zählungen wurden durch zwei verschiedene Untersucher durchgeführt. Die Bildgebungen hatten eine Schichtdicke ≤ 1 mm. Als gut sichtbare SA galten Arterien mit einem Durchmesser ≥ 2 mm und mit ausreichender (50 bis 60 HU) Dichte. (Abbildung 7-9)

Bei 57/83 Patienten war eine komplette Bildgebung mit ausreichender Auflösung durch CTAs zu

allen Zeitpunkten vorhanden (31 Patienten aus der non-TASP Gruppe und 26 aus der TASP Gruppe; 34 Männer und 23 Frauen, Median 72 Jahre \pm 9.02 (Männer: 71,21 und Frauen: 69,87). 26 Patienten mit mangelhafter Bildgebung wurden von der Studie ausgeschlossen. Bei 14 von diesen Patienten (TASP Gruppe n=10; non-TASP Gruppe n=10) wurde auf eine CTA im TASP-Intervall oder kurzzeitig nach Komplettierung der Versorgung aufgrund erhöhter Niereneretentionsparameter verzichtet. Sieben Patienten wurden mit externer präoperativer Bildgebung aufgrund schlechter Untersuchungsqualität und nicht sicher sichtbarer segmentalen Arterien ausgeschlossen. Bei den verbleibenden fünf Patienten hat die Komplettierung der endovaskulären Versorgung nicht stattgefunden.

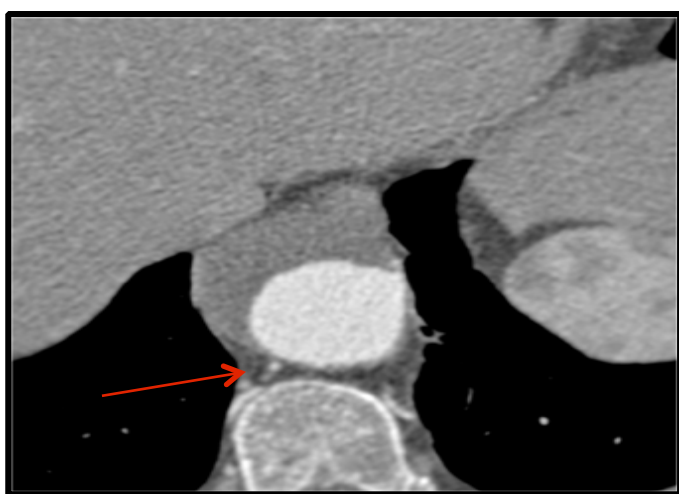


Abbildung 7: Präoperative axiale Darstellung der thorakalen Aorta mit Nachweis von dorsal der Aorta abgehender SA

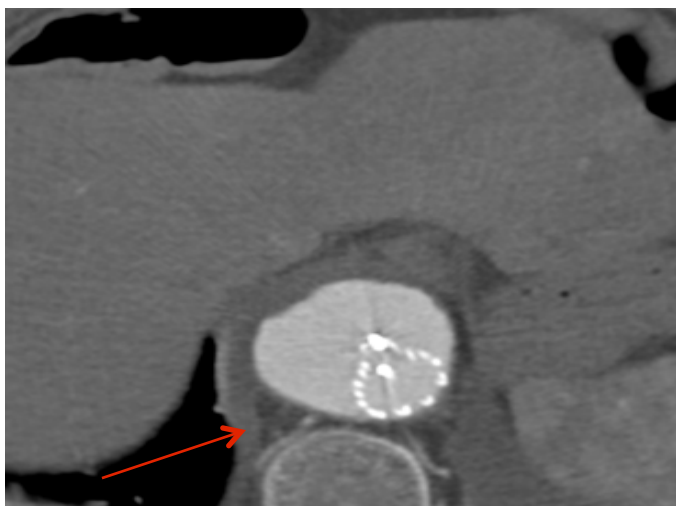


Abbildung 8: Axiale Darstellung der thorakalen Aorta in gleicher Höhe während der TASP Phase mit temporär perfundiertem Aneurysmasack; zu sehen ist ein durchblutetes Ae. Intercostales Paar (roter Pfeil).

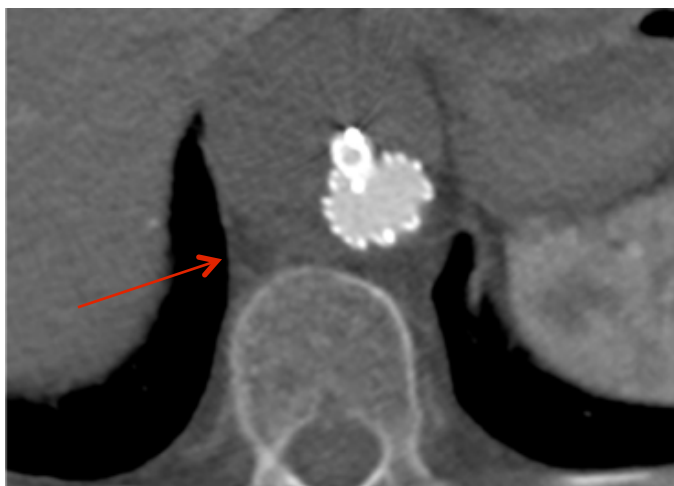


Abbildung 9: Postoperative Kontrolle nach Komplettierung der endovaskulären Therapie und Implantation eines gebrauchten Hauptkörpers mit Seitenast- Komplettierung der organversorgenden viszerale Arterie.

2.6 Endpunkte der Studie

Als primäre Endpunkte wurden der technische Erfolg, die perioperative Mortalität und die Abwesenheit einer schweren spinalen Ischämie (SI) innerhalb 30 Tage postoperativ oder bis zum Entlassungstag gewählt. Sekundäre Endpunkte waren die Rate der Früh-Reinterventionen, die Dysfunktion eines renovisceralen Organs und alle neurologische Ereignisse bis auf SI. Als erfolgreiches TASP Konzept wurde die gebrauchte endovaskuläre Versorgung (BEVAR), mit durchgängigen offen gelassenen Seitenarmen oder iliakalen Verlängerungen im TASP Intervall und die Abwesenheit einer Endoleackage Typ I oder III sowie die erfolgreiche Komplettierung des zweiten Behandlungsschrittes definiert. Endoleackagen Typ II wurden bei der Bewertung des technischen Erfolgs nicht berücksichtigt.

2.7 Neurologische Evaluation

Bei Trauma des Rückenmarks wird die auftretende klinische Symptomatik durch das jeweils betroffene Gefäßversorgungsgebiet entweder als A. spinale anterior Syndrom oder als A. sulcocommissuralis Syndrom oder als A. spinale posterior Syndrom bezeichnet⁶⁵. Die häufigste Läsion betrifft das Gebiet der A. spinalis anterior, so auch nach ausgedehnter Versorgung eines thorakoabdominalen Aorttenaneurysmas, wenn hierbei die von der Aorta abzweigenden Aa. intercostales und lumbales unterbrochen werden. Infolgedessen treten gürtelförmige Schmerzen, gefolgt von einer schlaffen Paraplegie oder –parese, Blasen-Mastdarmstörungen sowie eine dissoziierte Empfindungsstörung für Schmerz und Temperaturempfinden auf.⁶⁵

Für die Bewertung der Ischämie bestand initial noch keine Klassifizierung der motorischen neurologischen Ereignisse, deswegen haben wir eine modifizierte Tarlov's Skala angewendet.^{61,66}

Die Stufen 0 bis 2 wurden als schwere Spinale Ischämie (SCI) bewertet. (Tabelle 1)

Tabelle 1: Modifizierte Tarlov's Skala zur Klassifikation der spinalen Ischämie⁶¹

0	Bilaterale Paraplegie, Stuhl und Urin Inkontinenz
1	Minimale Bewegung der unteren Extremitäten, inkomplette einsitige Paralyse der unteren Extremität Patient kann nicht sitzen/steht
2	Eingeschränkte koordinierte Beinbewegungen Patient kann sitzen und stehen mit Hilfe, Stuhl und Urin Inkontinenz
3	Patient kann stehen und gehen mit Hilfe, Hüftinstabilität, Stuhl und Urin Inkontinenz
4	Instabiles Gehen, hauptsächlich ohne Hilfe, Stuhl und Urin Kontinenz
5	Fast normale motorische Muskelfunktion, Gehen mit geringer Instabilität, Normale Sphinkterfunktion

2.8 Postoperative Evaluation

Im Rahmen der postoperativen Evaluation erfolgten innerhalb von drei bis fünf Tagen nach BEVAR duplexsonographische Kontrollen (auch mit Kontrastmittel-Verstärkung), Röntgenaufnahmen der Endoprothese und Computertomografien mit Kontrastmittel (in der TASP Gruppe nach beiden Behandlungsschritten). Im Rahmen der Verlaufskontrolle erfolgte die gleiche Serie von Untersuchungen in 6 Monaten und danach jährlich. Bei zu erwartenden oder gesicherten Komplikationen sowie neuen oder erneuten Beschwerden verkürzten und bei unauffälligem Befund verlängerten sich die Untersuchungsintervalle. Die Sonographie wurde in der TASP Gruppe eingesetzt um eine antegrade Perfusion der segmentalen Arterien durch den offenen Seitenarm von einer retrograden Perfusion im Sinne einer Typ II Endoleackage zu unterscheiden. Sonographisch konnte in der TASP Gruppe eine Perfusion der Aussackung von einer Endoleackage z.B. Typ I oder III von einer Endoleackage Typ II unterschieden werden, besonders bei Patienten mit eingeschränkter Nierenfunktion⁶⁷.

Die CTA-Datensätze entstammten überwiegend dem elektronischen Bildarchiv der Klinik und Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Regensburg. Weitere Untersuchungen, die in auswärtigen Röntgeninstituten oder -praxen angefertigt worden sind, wurden unserem Institut im Rahmen der Mitbeurteilung zur Verfügung gestellt. Diese DICOM-Datensätze konnten in unser System eingelesen und dort bearbeitet werden.

Wir formulierten folgende Einschlusskriterien:

- Die CTA sollte eine Schichtdicke von 1 mm nicht überschreiten und
- die thorakoabdominale Aorta sowie das endovaskuläre Implantat vollständig abbilden.

Die Speicherung der Patientendatensätze erfolgte im DICOM- (Digital Imaging and Communications in Medicine) Format.

Die Auswertung der computertomographischen Datensätze wurde mit der

Bildbearbeitungssoftware Osirix free 32-bit version 6.5 (Pixmeo SARL, Geneva, Switzerland) vorgenommen. Die Datenerfassung erfolgte mit Excel® von Microsoft® (Redmond/ USA), die abschließende Auswertung mit dem Datenanalysesystem SPSS Version 20.0® (IBM, Armonk, NY, USA). Kategorische Variablen wurden mittels Chi-Quadrat Test und non kategorische Variablen mittels t-student Test verglichen. Hier galt ein p-Wert <0,05 als statistisch signifikant.

3. Ergebnisse

3.1 Charakterisierung der Studienpopulation

Diese retrospektive Studie umfasst die Daten von 83 Patienten - davon 43 ohne temporäre Aneurysmasackperfusion (non-TASP Gruppe, 29 Männer) und 40 mit temporärer Aneurysmasackperfusion (TASP Gruppe, 26 Männer), die von Januar 2009 bis September 2013 bei TAAA mittels BEVAR versorgt wurden. Das mittlere Alter der Patienten in der non-TASP Gruppe war 71,35 \pm 1,5 Jahre und in der TASP Gruppe 72,8 \pm 1,2 Jahre. (Tabelle 2)

Tabelle 2: Geschlecht und mittleres Alter der Patienten

	non-TASP	TASP	p
Männer (n=55)	29	26	n.s.
Frauen (n=28)	14	14	n.s.
Mittleres Alter / SD in Jahren	71,35 / \pm 1,5	72,8 / \pm 1,2	n.s.

SD= Standardabweichung

3.2 Die Risikofaktoren

Bezüglich der Risikofaktoren gab es zwischen beider Gruppen keinen statistisch signifikanten Unterschied. (Tabelle 3)

Tabelle 3: Verteilung der Risikofaktoren zwischen beiden Gruppen

Risikofaktoren	Non-TASP	TASP	p
Hypertonie	39/43 (91%)	38/40 (95%)	n.s.
KHK	22/43 (51%)	21/40 (53%)	n.s.
Chronische NI-Dialyse	11-3/43 (26%-7%)	15-1/40 (36%-3%)	n.s.
COPD	13/43 (30%)	11/40 (28%)	n.s.
Schlaganfall	5/43 (12%)	10/40 (25%)	n.s.
Nikotinabusus	28/43 (65%)	24/40 (60%)	n.s.

KHK= Koronare Herzerkrankung, COPD=Chronisch obstruktive Lungenerkrankung, NI= Niereninsuffizienz

3.3 Aneurysma-Parameter

Ebenso waren die Charakteristika der Aussackung zwischen beiden Gruppen homogen und ohne relevante Unterschiede. (Tabellen 4-5)

Tabelle 4: Verteilung der Patienten nach Crawford - Klassifikation

Aneurysma Typ	Non-TASP	TASP	p
Crawford I	5	5	n.s.
Crawford II	4	6	n.s.
Crawford III	15	18	n.s.
Crawford IV	19	11	n.s.

Tabelle 5: Verteilung des Aneurysmadurchmessers in beiden Gruppen

Durchmesser	Non-TASP	TASP	P
< 5 cm	1	1	n.s.
5 - 6 cm	15	14	n.s.
6,1 - 7 cm	16	11	n.s.
7,1 - 8 cm	5	7	n.s.
> 8 cm	6	7	n.s.

3.4 Gefäßchirurgische Anamnese

Die Analyse der gefäßchirurgischen Anamnese der Patienten gab fast homogene Ergebnisse. In der gesamten Studienpopulation hatten 30% der Patienten einen Aorteneingriff in ihrer Vorgeschichte. (Tabelle 6)

Tabelle 6: Aorteneingriffe in der Anamnese

Vorherige Aortenoperation	Non-TASP	TASP	P
Keine	31	26	n.s.
Endovaskulärer Aorteneingriff	2	4	n.s.
Offene Aortenrekonstruktion	10	10	n.s.

3.5 Anzahl der Seitenarme der Endoprothesen

Insgesamt hatten die verwendete Prothesen 300 Seitenarme (Mittelwert 3,57; SE 0,157). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Bei zehn Patienten beider Gruppen wurden Prothesen mit Kombination von Fenestrierungen und Seitenarmen verwendet. (Tabelle 7)

Tabelle 7: Anzahl der Seitenarme in beiden Gruppen

Anzahl der Seitenarme	Non-TASP	TASP	P
<u>3</u>	8	3	n.s.
<u>4</u>	31	26	n.s.
<u>5</u>	2	2	n.s.
<u>6</u>	0	1	n.s.
<u>fenestrated / branched</u>	3	7	n.s.

3.6 Technischer Erfolg

Die Sondierung aller Seitenarme und der Zielarterien war bei 71/83 Patienten erfolgreich. Es gab keine statistisch signifikante Differenz zwischen beiden Gruppen. Bei neun Fällen war die Sondierung eines NA Seitenarmes und Versorgung mit einem gecoverten Stent nicht möglich. In einem Fall wurde eine 5-fach gebranchte Stentprothese (Seitenarme für 2 NA, AMS, A. lienalis und A. hepatica) bei dem Versuch der Reorientierung übermäßig torquiert, so dass die gecoverten Stents für die A. mesenterica superior und die A. lienalis von den Zielarterien luxiert wurden. Es erfolgte die Versorgung der AMS über den verbliebenen A. hepatica Seitenarm, sowie die Implantation eines iliaco-hepatica Bypasses am folgenden Tag bei Leberischämie. In einem anderen Fall war es bei der zweiten Operation in der TASP Gruppe nicht möglich die A. mesenterica inferior zu sondieren, deswegen wurde der TASP-Seitenarm verschlossen. Beim dem vorletzten Fall war der Tr. coeliacus bei filiiformer Stenose nicht sondierbar und bei angiographisch festgestellter ausgeprägter Kollateralisierung über die A. gastroduodenalis wurde der Seitenarm verschlossen. Bei dem letzten Patienten von der TASP Gruppe, war der offen belassene TC Seitenarm komprimiert und okkludierte während des TASP Intervalls. (siehe 3.7) (Tabelle 8)

Tabelle 8: Erfolgsrate der Sondierung und Überbrückung der Zielgefäße

Erfolgsrate	Non-TASP	TASP	P
Erfolgreiche Sondierung	39/43 (91%)	32/40 (80%)	n.s.
Frustranter Versuch bei einem oder mehreren Seitenarmen	4/43	8/40	n.s.

3.7 Offen belassener TASP-Seitenarm

Die Anzahl und Lokalisation der offen belassenen Seitenarme in der TASP Gruppe werden in Tabelle 9 dargestellt. Bei dem Patienten mit Okklusion des Seitenarmes für den TC im TASP Intervall war eine Rekanalisation des Seitenarmes nicht möglich. Postoperativ bestand kein Hinweis auf eine Perfusion des Aneurysmasacks.

Tabelle 9: Verwendete Seitenarme für die temporäre Aneurysma Perfusion(TASP)

Seitenarme	Patienten	%
Truncus coeliacus	20	50%
A. renalis	9	22%
A. hepatica/A. mesenterica inferior	2	4%
Aortale/iliakale Verlängerung	2/7	23%

3.8 Narkose

82 Patienten wurden unter allgemeiner Anästhesie operiert, ein Patient wurde mit spinaler Anästhesie operiert. Bei 73/82 Patienten mit allgemeiner Anästhesie erfolgte die preoperative Implantation eines SPK zur SCI Prophylaxe. Zwischen beiden Gruppen ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich der SPK Anlage. Zudem erfolgte in der TASP Gruppe eine zweite Operation zur Komplettierung der Therapie. Hier wurde ein Teil der Patienten, wenn möglich, unter lokaler Betäubung operiert, um neurologische Symptomatik sofort zu erkennen. (Tabelle 10)

Tabelle 10. Art der Narkose

Anästhesie	Non-TASP	TASP 1st Operation	TASP 2st Operation
ITN	42	40	28
Epidural	1	-	
Lokal	-	-	7

ITN= Intubationsnarkose

3.9 Zeitintervall

Für das Zeitintervall zwischen erster und zweiter Intervention in der TASP Gruppe ergab sich ein Median von 48 Tagen (Mittelwert 60,7 \pm 12,9 Tage) mit einer Spannweite von 1 bis 370 Tagen. Die Gründe für die teilweise Zeitverzögerung waren in sechs Fällen die vorläufige Ablehnung einer neuen Intervention durch die Patienten, bei sechs Patienten ein komplizierter postoperativer Verlauf und bei sieben Patienten das Auftreten von neurologischen Ereignissen.

3.10 Komplikationen

Zwischen beiden Gruppen ergab sich kein Unterschied im Bezug auf peri- und postoperative Komplikationen (hier ausgenommen den neurologischen Ereignissen). Die Komplikationen wurden nach Schweregrad als gering, mittelgradig und schwer klassifiziert. Als gering wurden die Komplikationen bezeichnet, die sich spontan nachließen, oder den stationären Aufenthalt nicht verlängerten, bzw. keine permanente Behinderung hinterließen. Mittelgradig waren die Komplikationen, die eine sekundäre Intervention benötigten, einen prolongierten stationären Aufenthalt (mehr als 24 Stunden) oder eine minimale permanente Beeinträchtigung verursachten; z.B. die Ausräumung eines Wundhämatoms oder eine Zehenamputation. Schwergradig wurden die Komplikationen genannt, die eine ausgedehnte operative oder medizinische Maßnahme erforderlich machten und mit einer schweren permanenten Behinderung^{1,68}. (Tabelle 11)

Tabelle 11: Aufgetretene Komplikationen in beiden Gruppen

Grad der Komplikationen	Non-TASP	TASP	p
keine	25	19	n.s.
gering	7	7	n.s.
mittelgradig	5	6	n.s.
schwergradig	6	8	n.s.

Bezüglich der schwergradigen Komplikationen gab es zwei Patienten der non-TASP und einer der TASP Gruppe; diese entwickelten postoperativ eine dialysepflichtige Niereninsuffizienz. Zwei Patienten aus der non-TASP Gruppe entwickelten eine mesenteriale Ischämie. Bei dem ersten Fall kam es zur Remission mittels konservativen Maßnahmen. Bei dem zweiten Fall waren eine Darmresektion und eine vorübergehende Stoma Anlage erforderlich. Drei Patienten jeder Gruppe starben im frühen postoperativen Zeitraum. Drei Patienten sind aufgrund einer mesenterialen Ischämie verstorben. Ein Patient starb aufgrund eines multiplen Organversagens, ein Patient aufgrund einer schweren intrazerebralen Blutung nach Lyse - Therapie bei thrombembolischem Ereignis der unteren Extremität und ein Patient aufgrund einer spontanen intrazerebralen Blutung bei Gerinnungsstörung. (Tabelle 12)

Tabelle 12: Morbidität-Mortalität innerhalb beider Gruppen

	Non-TASP	TASP	p
postoperative NI	2	1	n.s.
akute mesenteriale Ischämie	2	-	n.s.
Mortalität	3	3	n.s.
Mortalität im TASP Intervall	-	1	n.s.

3.11 Fehlende Komplettierung der operativen Therapie in der TASP- Gruppe

In der TASP Gruppe fand in fünf Fällen keine Komplettierung der Therapie statt. Die Ursachen waren folgende:

1. Ein Patient starb 4 Monate nach der ersten Operation möglicherweise an Aneurysmaruptur. Er wurde mit Hämoptyse in einem auswärtigen Krankenhaus aufgenommen und verstarb. Allerdings wurde hier keine Obduktion durchgeführt.
2. Zwei Patienten sind während der TASP-Zeitraum gestorben; der Erste in Folge eines schweren Schlaganfalles und der Zweite in Folge einer Krebs-Krankheit.
3. Ein Patient lehnte die weitere Therapie ab
4. Bei dem fünften Patienten erfolgten 2 frustrane Versuche den offenen Seitenarm für die rechte NA zu sondieren. Der Seitenarm zeigte sich komprimiert und wurde interventionell verschlossen.

3.12 Zerebrale Ischämie

Drei Patienten der TASP Gruppe erlitten nach der ersten Operation einen Schlaganfall. Der Erste erlitt mehrere ischämischen zerebellären und hemisphärischen Läsionen embolischer Genese überwiegend rechtsseitig (Charles Bonnet Syndrom). Beim Zweiten fiel eine Bein-Parese links auf, bei frischen Infarkten zerebellär und hemisphärisch rechts beim bekanntem vorbestehenden ipsilateralen A. carotis interna-Verschlusses. Der dritte Patient erlitt eine fulminante intrazerebrale Blutung bei systemischer postoperativer Gerinnungsstörung; hier fiel auch eine begleitende spontane retroperitoneale Blutung auf. In der non-TASP Gruppe hat kein Patient eine zerebrale Ischämie erlitten. (Tabelle 13)

Tabelle 13: postoperative Schlaganfälle

Stroke	Non-TASP	TASP	p
ja	-	3	n.s.
nein	41	39	

3.13 Dauer der Behandlung

Die gesamte Dauer des stationären Aufenthaltes betrug bei 19 Patienten bis maximal 10 Tage im Krankenhaus, bei 33 Patienten 10 bis 20 Tage, bei 23 Patienten 10 bis 30 Tage und bei acht Patienten - alle aus der TASP Gruppe - über 30 Tage. Der Aufenthalt der Patienten der TASP Gruppe war wegen des zweischrittigen Vorgehens prolongiert. Hier war der Unterschied statistisch signifikant. (Tabelle 14)

Tabelle 14: Dauer der Behandlung

Dauer der Behandlung	Non-TASP	TASP	p
bis 10 Tage	15	4	0,05
10 bis 20 Tage	17	16	
20 bis 30 Tage	9	14	
>30 Tage	-	8	

3.14 Endoleackage

Direkt postoperativ war bei 66 Patienten keine Endoleackage nachweisbar, bei 18 zeigte sich in der postoperativen Kontrolle eine Endoleackage. Auch hier gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen. (Tabelle 15)

Tabelle 15: Häufigkeit von Endoleackagen

Endoleackage	Non-TASP	TASP	p
kein	38	28	n.s.
Endoleackage	6	11	n.s.

Fünf Typ Ib Endoleackagen von den Zielgefäßen (1 in der non-TASP Gruppe, 4 in der TASP Gruppe) wurden mittels Verlängerung des gecoverten Stents tiefer in das Zielgefäß behandelt. Typ II Endoleackagen wurden in 12 Fällen nachgewiesen (fünf in der non-TASP Gruppe und sieben in der TASP Gruppe). In einem Fall in der non-TASP Gruppe wurde die Endoleackage circa 2 Jahren

nach der Versorgung bei Größenprogredienz des Aneurysmas mit Onyx[®] embolisiert. In den weiteren 11 Patienten wurden Typ II Endoleckagen bei größenkonstanten Aneurysmen konservativ behandelt. In 5 von diesen Patienten sind Typ II Endoleckagen spontan okkludiert. (Tabelle 16)

Tabelle 16: Aufteilung der Endoleckagen in beiden Gruppen

Endoleckage	Non -TASP	TASP
Typ I	1	4
Typ II	5	7
Typ III	-	-
Typ IV	-	-
Interventionen	2	4

3.15 Infarkte der Bauchorgane

Bezüglich der Häufigkeit von Infarkten der Bauchorgane – Niere und Milz – ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p=0,123$). Insgesamt hatten 26 Patienten im postoperativen CTA einen neu aufgetretenen Infarkt, 18 in der non-TASP und acht in der TASP Gruppe. (Tabelle 17) Ursache der Infarzierungen war das Überstenting einer Nierenpolararterie in 9 Patienten. In 7 Patienten war die intraoperative Sondierung des entsprechenden Zielgefäßes schwierig und erforderte wiederholten Katheterisierungsversuche. In 10 Patienten konnte keine eindeutige Ursache der Infarzierung festgestellt werden.

Tabelle 17: Infarkte der Bauchorgane

Infarkte	Non-TASP (n=43)			TASP (n=40)			p
ja	17			9			
	Niereninfarkte	Milzinfarkte	Kombination	Niereninfarkte	Milzinfarkte	Kombination	
	15	1	1	8	-	1	0,12

3.16 Spinale Ischämie

Die neurologischen Ereignisse nach einer spinalen Ischämie wurden analysiert. Aufgrund des Versorgungsmusters im Rückenmark erleidet nach der endovaskulären Ausschaltung des Aneurysmas meistens der vordere Teil des Rückenmarks eine Durchblutungsstörung im Sinne eines A.-spinalis-anterior-Syndroms in verschieden starker Ausprägung. Primäre Symptome des Syndroms sind meistens gürtelförmige oder radikuläre Schmerzen, gefolgt von einer schlaffen Paraplegie oder Paraparese, Blasen - Mastdarm-Störungen sowie einer dissoziierten Empfindungsstörung für Schmerz und Temperaturempfinden bei weitgehend intaktem Vibrations- und Lagesinn⁶⁵.

Zur besseren Dokumentation und Einschätzung des Schweregrades der ischämiebedingten motorischen Funktion wurde die o.g. modifizierte Tarlov Skala verwendet⁶¹ und deren Stufen 0 bis 2 als schwere spinale Ischämie benannt. Hier wurde zusätzlich der transitorische oder permanente Charakter der Symptome untersucht und dokumentiert sowie auch das Früh- oder Spätaufreten der Klinik⁶⁹. Insgesamt trat direkt postoperativ bei 17 Patienten beider Gruppen eine Parese oder eine Paraplegie auf; bei 10 Patienten in der non-TASP und 7 in der TASP Gruppe. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant.

Dennoch, wenn man die Ereignisse einer schweren Neurologie (Tarlov's Skala: 2 bis 0) zwischen beiden Gruppen vergleicht, war der Vorteil der TASP Gruppe statistisch signifikant, und deutlicher bei Patienten mit Aneurysmata vom Typ I-III nach Crawford. In der TASP Gruppe waren 5/7 SCI Ereignisse passager, im Gegensatz zu 1/9 SCI Ereignissen in der non-TASP Gruppe. In unserer Studie traten alle SCI Fälle früh auf, bis auf einen Patienten in der non-TASP Gruppe, bei dem die Symptomatik >24 Stunden postoperativ auftrat. (Tabelle 18)

Tabelle 18: Präsentation der Häufigkeit der spinalen Ischämie in beiden Gruppen und in Subgruppen

Neurologie	Non-TASP (43 Patienten)	TASP (40 Patienten)	p	TASP* (35 Patienten)	p
Passagere Paraparese	1	5	n.s.	5	0,04
Paraplegie	9	2	0,032	1	0,018
<i>TAAA Typ II/III nach Crawford</i>					
Patienten	24	29		25	
Paraplegie	7	1/0	0,009	0	0,004

* komplettierte TASP Fälle.

Patienten mit thorakoabdominellen Aneurysmen Typ I-III hatten ein deutlich erhöhtes Risiko für SCI. Patienten mit Diabetes mellitus II und COPD im Gegensatz hatten geringeres Risiko für SCI. (Tabelle 19)

Tabelle 19: Einfluss ausgewählter Faktoren auf die Prävalenz einer schweren spinalen Ischämie

	schwere SI	p
Durchmesser >6cm	10/49 (20%)	0,015
COPD	1/25 (4%)	0,048
Diabetes mellitus	-/15	0,059
Crawford I-III	8/43 (19%)	0,016

3.17 Bedeutung der postoperativen Endoleckagen für das Auftreten neurologischer Komplikationen

Es ergab sich keine klare Korrelation für eine positive Wirkung von postoperativen Endoleckagen auf die Rate der schweren spinalen Ischämie in der non – TASP Gruppe; hier war der Unterschied nicht statistisch signifikant. (Tabelle 20)

Tabelle 20: Einfluss der Endoleackage auf das Auftreten einer schweren spinalen Ischämie im gesamten Kollektiv und in den beiden Gruppen.

	Non-TASP (n=43)		TASP (n=40)		p
	Endoleackage	-	Endoleackage	-	
Schwere SCI	1/5	8/29	-/12	2/26	0,231

3.18 Resultate der Evaluation der spinalen segmentalen Arterien

Um die positive Wirkung der TASP Technik auf das Auftreten der spinalen Ischämie zu eruieren, haben wir die Anzahl der sichtbaren segmentalen Arterien im überstenteten Bereich der Aorta in beiden Gruppen zu 2 bzw. 3 Zeitpunkten – präoperativ, postoperativ sowie während des TASP Intervalls (zwischen den beiden Behandlungsschritten) - ausgerechnet und dokumentiert. Hier waren beide Gruppe ziemlich homogen ohne statistisch relevante Unterschiede im Bereich der allgemeinen Charakteristika. In dieser Subgruppe erlitten acht Patienten eine schwere SCI (ein Patient aus der TASP Gruppe und sieben aus der non-TASP Gruppe; p= 0,046). (Tabelle 21)

Tabelle 21: Charakteristika der Patienten mit Evaluation der spinalen Segmentarterien

	Non-TASP	TASP	p
Männer	19	15	n.s.
Frauen	12	11	n.s.
Mittleres Alter	69	70	n.s.
Hypertonie	28	24	n.s.
KHK	18	11	n.s.
CNI	10	9	n.s.
COPD	11	6	n.s.
Schlaganfall	5	5	n.s.
Nikotinabusus	23	15	n.s.
Vorherige Aorta-Operation	12	10	n.s.
Crawford I	4	4	n.s.
Crawford II	4	4	n.s.
Crawford III	7	11	n.s.
Crawford IV	16	7	n.s.
Schwere SCI	7	1	0,046

In den postoperativen CTAs hatte jeder Patient nach der Komplettierung der Therapie sichtbare SAs im überstenteten aortalen Areal. Der Median-Anzahl der SA präoperativ betrug 16,07 (non-TASP: 15,23 vs TASP: 17,04). Hier war die Zahl der SA in der TASP Gruppe etwa höher, da in dieser Gruppe waren mehrere Patienten mit Crawford I-III. Postoperativ war der Median 10,79 (non-TASP: 10,81 vs TASP: 10,77). Der Unterschied zwischen präoperativer und postoperativer Anzahl der sichtbaren SAs in dieser Subgruppe war statistisch signifikant, nicht jedoch zwischen beiden Gruppen zum gleichen Zeitpunkt. (*Tabelle 25/Abbildung 10*)

Innerhalb der TASP Gruppe konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl der SAs präoperativ, während des TASP Intervalls und postoperativ nachgewiesen werden. Während des TASP Intervalls zeigte sich die Perfusion mehrerer SA erhalten (Tabelle 22 /Abbildung 11). Unsere Ergebnisse demonstrieren, dass in beiden Gruppen mehr als 50% der SA postoperativ perfundiert bleiben. Die Anzahl der verbleibenden SAs im TASP Intervall ist signifikant reduziert im Vergleich zur präoperativen Anzahl von SAs aber auch signifikant erhöht im Vergleich zur Anzahl nach Komplettierung der Prozedur. Gleichzeitig werden im TASP Intervall signifikant mehr SAs erhalten als postoperativ bei der non-TASP Gruppe.

Tabelle 22: Vergleich der Zahl der SA zu verschiedenen Zeitpunkten insgesamt und innerhalb der Gruppen

	Präoperativ	TASP-Intervall	Postoperativ	p
Beide Gruppen	16,05	-	10,79	<.001
Non-TASP	15,23	-	10,81	<.001
TASP	17,24	13,81	10,77	<.001

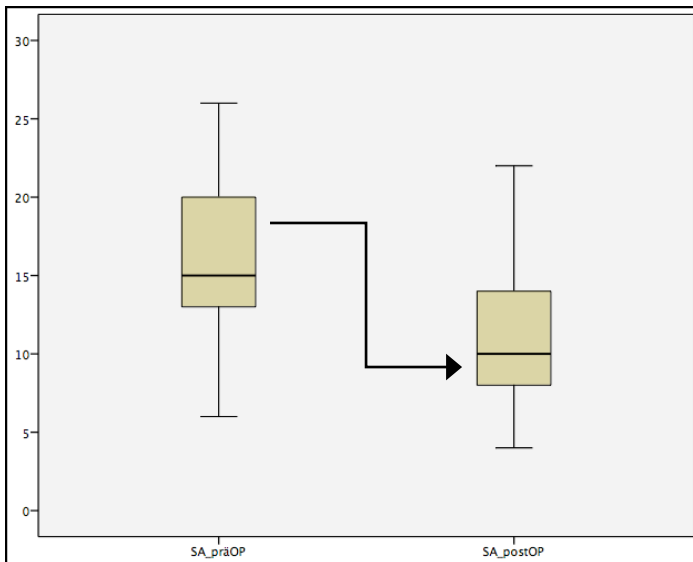


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Reduzierung der SA in der non-TASP Gruppe.

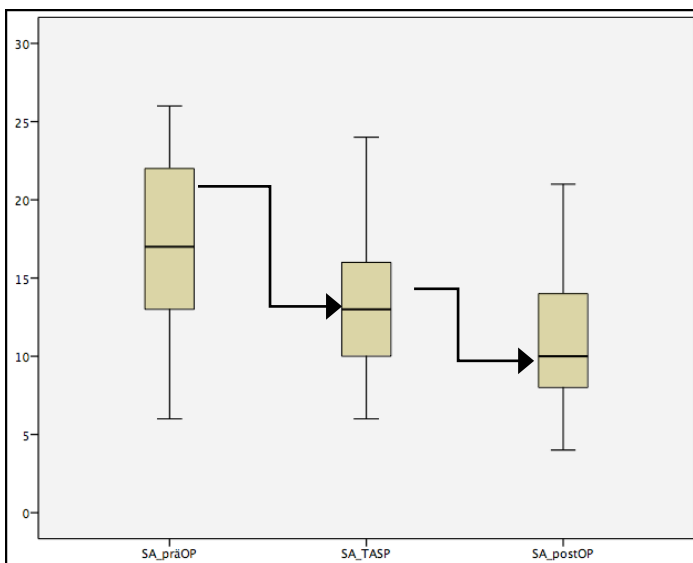


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Reduzierung der SA in der TASP Gruppe

Eine erneute Analyse der Daten innerhalb der non-TASP Gruppe, mit dem Ziel eine mögliche Korrelation zwischen den überstenteten SA und dem Ereignis einer schweren SCI zu untersuchen, zeigte uns, dass die Patienten mit schwerer SCI sowohl präoperativ als auch postoperativ eine größere Zahl an sichtbaren überstenteten SAs hatten (präoperativ: 18,00 vs. 14,25 und postoperativ: 13,29 vs. 10,25). Alle Patienten mit schwerer SCI in der non-TASP Gruppe hatten mehr als 15 sichtbaren SAs präoperativ. Eine durchgeführte ROC Analyse zeigte, dass das Überstenting von >15 SA ein Cutt-off-Point darstellt für das Auftreten von schwerer SCI. In der TASP Gruppe hatte der einzige Patient (1/16 Patienten) mit schwerer SCI gleichfalls mehr als >15 SAs Arterien in der präoperativen CTA. (*Tabelle 23*).

Tabelle 23: Korrelation zwischen Anzahl der SA präoperativ und dem Ereignis einer schweren Ischämie in der non-TASP Gruppe

Segmentale Arterien	Schwere SCI	p
5-9	0/3 (0%)	0,005
10-14	0/9 (0%)	
15-19	5/14 (36%)	
>20	2/5 (40%)	

4. Diskussion

Obwohl die endovaskuläre Behandlung der TAAAs vielversprechend ist und eine neue innovative Ära eingeleitet hat, besteht weiterhin das Risiko für schwerwiegende Komplikationen. Für den Patienten bleibt eine spinale Ischämie eine verheerende und leider nicht seltene Komplikation. Im Rahmen der endovaskulären Versorgung gibt es zurzeit intraoperativ keine Möglichkeit eine direkte Revaskularisation der meistens multiplen und kleinkalibrigen interkostalen oder lumbalen Arterien durchzuführen. Bei offener Operation ließ sich zwar durch die Revaskularisation von Rückenmarksarterien eine Reduzierung der Paraplegierate erreichen, eine vollständige Eliminierung ist bisher jedoch nicht gelungen.⁷⁰

Experimentelle und klinische Studien haben gezeigt, dass die mehrzeitige Ausschaltung der interkostalen Arterien zu einer Verminderung des Auftretens einer spinalen Ischämie sowohl bei der offenen als auch bei der endovaskulären Therapie der TAAAs führen kann.^{20,71,72} Es wird angenommen, dass die stufenweise Ausschaltung des Aneurysmas zu einer Präkonditionierung des spinalen Netzwerks mit verbesserter Perfusion des Rückenmarks führt.^{19,22} Das Öffnen des Kollateralennetzwerkes benötigt einen gewissen Zeitraum bis zur Fuktionstüchtigkeit und Erhaltung der Rückenmarkperfusion.⁷¹

Aus unserer Studie ergeben sich Hinweise, dass bei Verwendung der TASP Technik im Vergleich zu der etablierten einzeitigen Therapie ein geringeres Risiko einer schweren spinalen Ischämie besteht. Zudem kam es in der TASP – Gruppe zu einer schnelleren und häufigeren Erholung nach einer spinalen Ischämie. In Übereinstimmung mit weiteren Studien^{73–75} kann das ein zusätzlicher Hinweis sein, dass die absichtliche temporäre Perfusion des Aneurysmasacks eine zentrale Rolle für die Erhaltung der benötigten Durchblutung des RMs spielt.

Es wurde angestrebt, die zweite Phase der TASP Therapie bei kooperativen Patienten unter örtlicher Betäubung durchzuführen, um ein kontinuierliches Monitoring des neurologischen Status des Patienten zu ermöglichen. Vor der Verbindung des TASP - Seitenarmes mit dem Zielgefäß wurden beide für 30-40 Minuten mittels eines Ballons okkludiert, um zu überprüfen ob das kollaterale spinale Netzwerk die Perfusion des RMs übernehmen kann.

Allerdings bestehen noch Limitationen der TASP Technik. Unklarheit besteht noch bezüglich des Zeitpunktes der Komplettierung der Therapie. Unserer Erfahrung nach ist ein Zeitraum von vier Wochen vernünftig und realistisch, abhängig vom postoperativen Verlauf. Es besteht die Hypothese, dass ein TASP-Zeitraum von 5 Tagen ausreichend sein könnte, um das kollaterale Netz zu stimulieren und das Paraplegierisiko signifikant zu senken. Andererseits besteht das Risiko einer Ruptur, solange das Aneurysma perfundiert ist. In der TASP Gruppe gab es nur zwei Patienten, bei denen sich eine signifikante Größenprogredienz (>5mm in 6 Monaten) des Aneurysmas zeigte. Ein

weiterer Patient verstarb im TASP-Intervall in einem externen Krankenhaus möglicherweise an Aortenruptur.

Bezüglich der Evaluation der spinalen Perfusion zeigt unsere Studie, dass trotz der Ausschaltung des Aneurysmasacks während eines BEVARs, dieser nicht unbedingt zum Verschluss aller überstenteten segmentalen Arterien führt. Die Verminderung der Anzahl von SA postoperativ war allerdings relevant. Patienten mit schwerer SCI in dieser Gruppe hatten eine höhere Anzahl an sichtbaren überstenteten SA postoperativ als Patienten ohne schwere SCI. Diese paradoxe Erkenntnis lässt sich dadurch erklären, dass eine im CTA sichtbare überstentete SA nicht zwangsläufig antegrad perfundiert wird und sogar ein Steal-Phänomen verursachen kann. Die stufenweise Okkludierung der SA in der TASP Gruppe führt zum Erhalt einer größeren Anzahl von antegrad perfundierten Segmentalarterien, was eventuell eine positive Wirkung auf die fragile spinale Perfusion im postoperativen Zeitraum haben könnte. Die Perfusion des RMs ist direkt postoperativ trotz des reichen kollateralen Netzes gering ausgeprägt.⁷⁶ Eine mögliche Erklärung der protektiven Rolle der TASP Technik ist, dass die temporär durchgängigen SA im TASP Intervall dem kollateralen Netz die nötige Zeit bieten, damit es sich stärker ausprägen kann und nach gewisser Zeit vollständig die Versorgung des RMs übernehmen kann.

Basierend auf der Beobachtung, dass eine höhere Anzahl überstenteter SA mit einem erhöhten Paraplegie – Risiko einhergeht, identifizierten wir die kritische Anzahl der SA zur Prognose des Paraplegie-Risikos per ROC Analyse. Wie bereits ausgeführt, ist eine Anzahl von mehr als 15 überstenteten SA mit einem signifikant höheren Paraplegie-Risiko assoziiert. Im Gegensatz zur non-TASP Gruppe war dieser Parameter (>15 SA) in der TASP- Gruppe nicht relevant, da nur ein einziger Patient innerhalb der TASP Gruppe eine schwere SCI erlitt.

Wie bei allen retrospektiven Untersuchungen bestehen auch bei unserer Studie manche Einschränkungen. Die endovaskuläre Technik mittels BEVAR war im Studienverlauf stetig begleitet von weiteren Entwicklungen des perioperativen Standards und der endovaskulären Technik. Deswegen gab es initial kein spezifisches Protokoll. Die Zuteilung der Patienten zu den Studiengruppen erfolgte nicht randomisiert, daher entsteht hier eine gewisse zeitliche Verzerrung (bias). Zusätzlich schränkt die begrenzte Zahl der untersuchten Patienten die Aussagekraft der Ergebnisse ein. Weiterhin, ist die semi-qualitative Evaluation der in der CTA sichtbaren SA's ein Hinweis für die makroskopisch sichtbare Perfusion aber nicht repräsentativ für die spinale Mikrozirkulation. Allerdings steht aktuell keine exaktere Methode zur Evaluation der spinalen Mikrozirkulation zur Verfügung.

In der Literatur gibt es nur eine geringe Anzahl klinischer Studien bezüglich des diskutierten Themas und bis heute keine über die Wirkung einer plötzlichen Okklusion der interkostalen Arterien nach der Entfaltung eines Stents mit paralleler Erhaltung einer Perfusion im

Aneurysmasack. Natürlich ist die von uns vorgestellte Methode zur Verbesserung der spinalen Perfusion und zur Ausbildung des spinalen Netzwerks keine Garantie für die Vermeidung einer perioperativen SCI. Trotz Verwendung der TASP Technik traten einzelne Fälle mit einem verzögerten schweren SCI, vorwiegend hypotoniebedingt auf. Diese Befunde zeigen, dass der Effekt der temporären Aneurysmasackperfusion und die dadurch beabsichtigte Expansion des spinalen Netzwerkes möglicherweise begrenzt sind. Andererseits sind wir überzeugt, dass in dem Gebiet der Expansion/Regulation des spinalen Netzwerkes ein relevantes Potential zur Verbesserung der bisherigen Therapieergebnissen besteht. Die weitere Durchführung klinischer prospektiver Studien und die weitere experimentelle Erforschung der Re-Modellierung der Perfusion des Rückenmarks bei Anwendung der TASP Technik ist notwendig, um das Risiko der spinalen Ischämie im Rahmen der operativen Versorgung von TAAA Patienten weiter zu reduzieren.

5. Zusammenfassung

5.1.Hintergrund

Trotz deutlicher Senkung der perioperativen Mortalität in der Versorgung thorakoabdomineller Aortenaneurysmen (TAAA) mittels endovaskulärer Stentprothese mit Seitenarmen für die reno-mesenterialen Arterien (BEVAR) bleibt die postoperative spinale Ischämie (SCI) die schwerwiegende Komplikation. Ziel dieser Arbeit ist es, das Risiko der SCI nach BEVAR zu ermitteln und Möglichkeiten zu etablieren, diese zu reduzieren. In einer retrospektiven Studie wurden die Verläufe von Patienten mit TAAA analysiert, die mit BEVAR therapiert wurden, wobei bei einem Teil der Patienten absichtlich eine Aneurysmaperfusion zur Erhaltung der Kollateralkreislaufes vorübergehend belassen wurde (temporäre Aneurysmasackperfusion: TASP).

5.2.Methoden

Die Datensammlung umfasst Krankengut im Zeitraum von Januar 2009 bis September 2012. In Rahmen dieser Studie wurden die Erfolgsrate der BEVAR, die Mortalität, die Morbidität und besonders die aufgetretene SCI dokumentiert und analysiert. Parallel wurden semiquantitativ die sichtbaren segmentalen Arterien (SA) im Bereich der überstenteten Aorta präoperativ und postoperativ gezählt und mit dem Auftreten der SCI verglichen. Die Auswertung der computertomographischen Datensätze wurde mit der Bildbearbeitungssoftware OsiriX vorgenommen. Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS, Version 20.0 für Windows (SPSS inc., Chicago, USA).

5.3.Ergebnisse

Von den 83 mittels BEVAR versorgten Patienten wurde bei 40 TASP angewandt. Die Rate der perioperativen Mortalität lag bei 7 % (6 Patienten; drei in jeder Gruppe). Schwere SCI erlitten insgesamt 11 Patienten (13%), 2/40 (5%) in der TASP Gruppe, 9/43 (20%) in der non-TASP Gruppe ($p=0,03$). Bezüglich der Anzahl der sichtbaren SA fiel in beiden Gruppen eine signifikante Differenz prä- und postoperativ auf (TASP: 17,24 vs 10,77; non-TASP: 15,23 vs 10,81; $p<0,001$). In der TASP Gruppe zeigte sich zusätzlich ein signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl der SA während des TASP Intervals und der Anzahl der SA nach Komplettierung des Eingriffs (13,81 vs 10,77; $p<0,001$). Die Anzahl der Überstenteten SAs (>15) war ein unabhängiger Prognosefaktor für das Auftreten von SCI in der nonTASP Gruppe ($p=0,005$).

5.4.Schlussfolgerung

Durch Anwendung von TASP kann das Auftreten von SCI deutlich reduziert werden. TASP könnte bei Patienten, bei denen mehr als 15 SA durch BEVAR überstentet werden, zur Prävention der SCI beitragen.

6. Literaturverzeichnis

1. Johnston KW, Rutherford RB, Tilson MD, Shah DM, Hollier L, Stanley JC. Suggested standards for reporting on arterial aneurysms. Subcommittee on Reporting Standards for Arterial Aneurysms, Ad Hoc Committee on Reporting Standards, Society for Vascular Surgery and North American Chapter, International Society for Cardiovascular. *J Vasc Surg.* 1991;13(3):452-458. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1999868>. Accessed November 1, 2015.
2. Horejs D, Gilbert PM, Burstein S, Vogelzang RL. Normal aortoiliac diameters by CT. *J Comput Assist Tomogr.* 12(4):602-603. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3392259>. Accessed November 30, 2015.
3. DUBOST C, ALLARY M, OECONOMOS N. Resection of an aneurysm of the abdominal aorta: reestablishment of the continuity by a preserved human arterial graft, with result after five months. *AMA Arch Surg.* 1952;64(3):405-408. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14894065>. Accessed November 30, 2015.
4. ETHEREDGE SN, YEE J, SMITH J V, SCHONBERGER S, GOLDMAN MJ. Successful resection of a large aneurysm of the upper abdominal aorta and replacement with homograft. *Surgery.* 1955;38(6):1071-1081. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13274266>. Accessed November 30, 2015.
5. Crawford ES, Crawford JL, Safi HJ, et al. Thoracoabdominal aortic aneurysms: preoperative and intraoperative factors determining immediate and long-term results of operations in 605 patients. *J Vasc Surg.* 1986;3(3):389-404. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3951025>. Accessed November 30, 2015.
6. W. Darrin Clouse, MD, FACS • Richard P. Cambria, MD F. *Complex Aortic Aneurysm.*; 2009.
7. Volodos' NL, Karpovich IP, Shekhanin VE, Troian VI, Iakovenko LF. [A case of distant transfemoral endoprosthesis of the thoracic artery using a self-fixing synthetic prosthesis in traumatic aneurysm]. *Grudn Khir.* (6):84-86. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3220297>. Accessed December 4, 2016.
8. Volodos NL, Karpovich IP, Troyan VI, et al. Clinical experience of the use of self-fixing synthetic prostheses for remote endoprosthetics of the thoracic and the abdominal aorta and iliac arteries through the femoral artery and as intraoperative endoprosthesis for aorta reconstruction. *Vasa Suppl.* 1991;33:93-95. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1788781>.

Accessed November 30, 2015.

9. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg*. 1991;5(6):491-499. doi:10.1007/BF02015271.
10. Dake MD, Miller DC, Semba CP, Mitchell RS, Walker PJ, Liddell RP. Transluminal placement of endovascular stent-grafts for the treatment of descending thoracic aortic aneurysms. *N Engl J Med*. 1994;331(26):1729-1734. doi:10.1056/NEJM199412293312601.
11. Anderson JL, Berce M, Hartley DE. Endoluminal aortic grafting with renal and superior mesenteric artery incorporation by graft fenestration. *J Endovasc Ther*. 2001;8(1):3-15. doi:10.1583/1545-1550(2001)008<0003:EAGWRA>2.0.CO;2.
12. Chuter TA, Gordon RL, Reilly LM, Goodman JD, Messina LM. An endovascular system for thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *J Endovasc Ther*. 2001;8(1):25-33. doi:10.1583/1545-1550(2001)008<0025:AESFTA>2.0.CO;2.
13. Chuter TAM, Rapp JH, Hiramoto JS, Schneider DB, Howell B, Reilly LM. Endovascular treatment of thoracoabdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg*. 2008;47(1):6-16. doi:10.1016/j.jvs.2007.08.032.
14. Svensson LG, Kouchoukos NT, Miller DC, et al. Expert consensus document on the treatment of descending thoracic aortic disease using endovascular stent-grafts. *Ann Thorac Surg*. 2008;85(1 Suppl):S1-41. doi:10.1016/j.athoracsur.2007.10.099.
15. Greenberg RK, Lu Q, Roselli EE, et al. Contemporary analysis of descending thoracic and thoracoabdominal aneurysm repair: a comparison of endovascular and open techniques. *Circulation*. 2008;118(8):808-817. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.108.769695.
16. Benninghoff A DD. *Anatomie: Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie*. Elsevier; 2004.
17. H. G. Gray's *Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Churchill Livingstone; 2008.
18. Adamkiewicz AA. *Die Blutgefäße Des Menschlichen Rückenmarkes, II: Die Gefäße Der Rückenmarksoberfläche*. Akad Wiss 85; 1882.
19. Etz CD, Kari FA, Mueller CS, et al. The collateral network concept: a reassessment of the anatomy of spinal cord perfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;141(4):1020-1028. doi:10.1016/j.jtcvs.2010.06.023.
20. Bischoff MS, Scheumann J, Brenner RM, et al. Staged approach prevents spinal cord injury in hybrid surgical-endovascular thoracoabdominal aortic aneurysm repair: an experimental model. *Ann Thorac Surg*. 2011;92(1):138-46; discussion 146. doi:10.1016/j.athoracsur.2011.03.098.
21. Zoli S, Roder F, Etz CD, et al. Predicting the risk of paraplegia after thoracic and

- thoracoabdominal aneurysm repair. *Ann Thorac Surg*. 2010;90(4):1237-1244; discussion 1245. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10735672>.
22. Griep EB, Griep RB. The Collateral Network Concept. *Texas Hear Inst J*. 2010;37(6):672-674.
 23. Bickerstaff LK, Pairolero PC, Hollier LH, et al. Thoracic aortic aneurysms: a population-based study. *Surgery*. 1982;92(6):1103-1108.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7147188>. Accessed November 30, 2015.
 24. Panneton JM, Hollier LH. Nondissecting thoracoabdominal aortic aneurysms: Part I. *Ann Vasc Surg*. 1995;9(5):503-514. doi:10.1007/BF02143869.
 25. Crawford ES, Coselli JS. Thoracoabdominal aneurysm surgery. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 1991;3(4):300-322. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1793767>. Accessed February 15, 2015.
 26. Coselli J, LeMaire S. Mortality and Paraplegia After Thoracoabdominal Aortic Aneurysm Repair : A Risk Factor Analysis. *Ann Thorac Surg*. 2000;4975(99):0-5.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003497599014782>.
 27. Juvonen T, Ergin MAA, Galla JD, et al. Prospective Study of the Natural History of Thoracic Aortic Aneurysms. *Ann Thorac Surg*. 1997;63(6):1533-1545. doi:10.1016/S0003-4975(97)00414-1.
 28. Davies RR, Goldstein LJ, Coady MA, et al. Yearly rupture or dissection rates for thoracic aortic aneurysms: simple prediction based on size. *Ann Thorac Surg*. 2002;73(1):17-27-8.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11834007>. Accessed February 15, 2015.
 29. LeMaire SA, Rice DC, Schmittling ZC, Coselli JS. Emergency surgery for thoracoabdominal aortic aneurysms with acute presentation. *J Vasc Surg*. 2002;35(6):1171-1178.
doi:10.1067/mva.2002.123320.
 30. Acher C, Wynn M. Outcomes in open repair of the thoracic and thoracoabdominal aorta. *J Vasc Surg*. 2010;52(4):3S-9S. doi:10.1016/j.jvs.2010.06.137.
 31. Schepens MAAM, Kelder JC, Morshuis WJ, Heijmen RH, van Dongen EP, ter Beek HTM. Long-Term Follow-Up After Thoracoabdominal Aortic Aneurysm Repair. *Ann Thorac Surg*. 2007;83(2):S851-S855. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.10.087.
 32. Jacobs MJ, Mommertz G, Koeppel TA, et al. Surgical repair of thoracoabdominal aortic aneurysms. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 2007;48(1):49-58.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17308522>. Accessed February 15, 2015.
 33. E. S. Debus WG-F. *Thorakale Und Thorakoabdominelle Aorta, Operative Und Interventionen Gefäßmedizin*. Springer Verlag Berlin Heidelberg; 2012.
 34. Suzuki S, Davis CA, Miller CC, et al. Cardiac function predicts mortality following

- thoracoabdominal and descending thoracic aortic aneurysm repair. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2003;24(1):119-24; discussion 124. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12853055>. Accessed February 15, 2015.
35. Estrera AL, Miller CC, Chen EP, et al. Descending thoracic aortic aneurysm repair: 12-year experience using distal aortic perfusion and cerebrospinal fluid drainage. *Ann Thorac Surg*. 2005;80(4):1290-6; discussion 1296. doi:10.1016/j.athoracsur.2005.02.021.
 36. Jacobs MJ, Eijssman L, Meylaerts SA, et al. Reduced renal failure following thoracoabdominal aortic aneurysm repair by selective perfusion. *Eur J Cardio-Thoracic Surg*. 1998;14(2):201-205. doi:10.1016/S1010-7940(98)00164-X.
 37. Conrad MF, Crawford RS, Davison JK, Cambria RP. Thoracoabdominal aneurysm repair: a 20-year perspective. *Ann Thorac Surg*. 2007;83(2):S856-61-2. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.10.096.
 38. Coselli JS, Bozinovski J, LeMaire SA. Open surgical repair of 2286 thoracoabdominal aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg*. 2007;83(2):S862-4-2. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.10.088.
 39. Schepens M, Dossche K, Morshuis W, et al. Introduction of adjuncts and their influence on changing results in 402 consecutive thoracoabdominal aortic aneurysm repairs. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2004;25(5):701-707. doi:10.1016/j.ejcts.2004.01.033.
 40. Khoynenezhad A, Bello R, Smego DR, Nwakanma L, Plestis KA. Improved outcome after repair of descending and thoracoabdominal aortic aneurysms using modern adjuncts. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2005;4(6):574-576. doi:10.1510/icvts.2005.114470.
 41. Svensson LG, Crawford ES, Hess KR, Coselli JS, Safi HJ. Experience with 1509 patients undergoing thoracoabdominal aortic operations. *J Vasc Surg*. 1993;17(2):357-68-70. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8433431>. Accessed November 30, 2015.
 42. Estrera AL, Miller CC, Huynh TT, Porat E, Safi HJ. Neurologic outcome after thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *Ann Thorac Surg*. 2001;72(4):1225-30-1. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11603441>. Accessed November 30, 2015.
 43. Kawanishi Y, Munakata H, Matsumori M, et al. Usefulness of transcranial motor evoked potentials during thoracoabdominal aortic surgery. *Ann Thorac Surg*. 2007;83(2):456-461. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.09.056.
 44. Kouchoukos NT. Hypothermic circulatory arrest and hypothermic perfusion for extensive disease of the thoracic and thoracoabdominal aorta. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg*. 1999;47(1):1-5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10077886>. Accessed December 4, 2016.
 45. Kouchoukos NT, Masetti P, Rokkas CK, Murphy SF, Blackstone EH. Safety and efficacy of hypothermic cardiopulmonary bypass and circulatory arrest for operations on the descending

thoracic and thoracoabdominal aorta. *Ann Thorac Surg.* 2001;72(3):699-708.
doi:10.1016/S0003-4975(01)02800-4.

46. Kouchoukos NT, Masetti P, Rokkas CK, Murphy SF. Hypothermic cardiopulmonary bypass and circulatory arrest for operations on the descending thoracic and thoracoabdominal aorta. *Ann Thorac Surg.* 2002;74(5):S1885-7-8. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12440687>. Accessed December 4, 2016.
47. Kari F, Brenner R, Müller C, Griep R, Bischoff M. Das zweizeitige Vorgehen zur Reduktion der spinalen Ischämie bei der Ausschaltung thorakoabdomineller Aortenaneurysmen - eine Übersicht. *Zentralblatt für Chir - Zeitschrift für Allg Visz Thorax- und Gefäßchirurgie.* 2013;138(5):521-529. doi:10.1055/s-0032-1328005.
48. Quiñones-Baldrich WJ, Panetta TF, Vescera CL, Kashyap VS. Repair of type IV thoracoabdominal aneurysm with a combined endovascular and surgical approach. *J Vasc Surg.* 1999;30(3):555-560. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10477650>. Accessed November 30, 2015.
49. Watanabe Y, Ishimaru S, Kawaguchi S, et al. Successful endografting with simultaneous visceral artery bypass grafting for severely calcified thoracoabdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg.* 2002;35(2):397-399. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11854742>. Accessed November 30, 2015.
50. Khoury M. Endovascular repair of recurrent thoracoabdominal aortic aneurysm. *J Endovasc Ther.* 2002;9 Suppl 2:II106-11. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12166834>. Accessed November 30, 2015.
51. Agostinelli A, Saccani S, Budillon AM, et al. Repair of coexistent infrarenal and thoracoabdominal aortic aneurysm: combined endovascular and open surgical procedure with visceral vessel relocation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2002;124(1):184-185. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12091828>. Accessed November 30, 2015.
52. Saccani S, Nicolini F, Beghi C, et al. Thoracic aortic stents: a combined solution for complex cases. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2002;24(5):423-427. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12435342>. Accessed November 30, 2015.
53. Fleck TM, Hutschala D, Tschernich H, et al. Stent graft placement of the thoracoabdominal aorta in a patient with Marfan syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003;125(6):1541-1543. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12830082>. Accessed November 30, 2015.
54. Flye MW, Choi ET, Sanchez LA, et al. Retrograde visceral vessel revascularization followed by endovascular aneurysm exclusion as an alternative to open surgical repair of thoracoabdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg.* 2004;39(2):454-458. doi:10.1016/j.jvs.2003.08.022.

55. Rimmer J, Wolfe JHN, Rimmer J WJ. Type III thoracoabdominal aortic aneurysm repair: a combined surgical and endovascular approach. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2003;26(6):677-679. doi:10.1016/S1078-5884(03)00299-5.
56. Adam DJ, Berce M, Hartley DE, Robinson DA, Anderson JL. Repair of recurrent visceral aortic patch aneurysm after thoracoabdominal aortic aneurysm repair with a branched endovascular stent graft. *J Vasc Surg*. 2007;45(1):183-185. doi:10.1016/j.jvs.2006.08.023.
57. Haulon S, D'Elia P, O'Brien N, et al. Endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2010;39(2):171-178. doi:10.1016/j.ejvs.2009.11.009.
58. Bicknell CD, Cheshire NJW, Riga C V, et al. Treatment of complex aneurysmal disease with fenestrated and branched stent grafts. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2009;37(2):175-181. doi:10.1016/j.ejvs.2008.11.008.
59. Verhoeven EL, Tielliu IF, Bos WT, Zeebregts CJ. Present and future of branched stent grafts in thoraco-abdominal aortic aneurysm repair: a single-centre experience. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2009;38(2):155-161. doi:10.1016/j.ejvs.2009.05.002.
60. Böckler D, Kotelis D, Geisbüsch P, et al. Hybrid procedures for thoracoabdominal aortic aneurysms and chronic aortic dissections - a single center experience in 28 patients. *J Vasc Surg*. 2008;47(4):724-732. doi:10.1016/j.jvs.2007.12.009.
61. Kasprzak PM, Gallis K, Cucuruz B, Pfister K, Janotta M, Kopp R. Editor's choice-- Temporary aneurysm sac perfusion as an adjunct for prevention of spinal cord ischemia after branched endovascular repair of thoracoabdominal aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2014;48(3):258-265. doi:10.1016/j.ejvs.2014.05.020.
62. Kieffer E, Fukui S, Chiras J, Koskas F, Bahnini A, Cormier E. Spinal cord arteriography: a safe adjunct before descending thoracic or thoracoabdominal aortic aneurysmectomy. *J Vasc Surg*. 2002;35(2):262-268. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11854723>. Accessed November 30, 2015.
63. Boll DT, Bulow H, Blackham KA, Aschoff AJ, Schmitz BL. MDCT angiography of the spinal vasculature and the artery of Adamkiewicz. *AJR Am J Roentgenol*. 2006;187(4):1054-1060. doi:10.2214/AJR.05.0562.
64. Hyodoh H, Kawaharada N, Akiba H, et al. Usefulness of preoperative detection of artery of Adamkiewicz with dynamic contrast-enhanced MR angiography. *Radiology*. 2005;236(3):1004-1009. doi:10.1148/radiol.2363040911.
65. Schwenkreis P, Pennekamp W, Tegenthoff M. Differenzialdiagnose der akuten und subakuten nichttraumatischen Querschnittslähmungen DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF ACUTE AND. 2006;103(November):2948-2954.
66. Tarlov IM. Acute spinal cord compression paralysis. *J Neurosurg*. 1972;36(1):10-20.

doi:10.3171/jns.1972.36.1.0010.

67. Pfister K, Rennert J, Uller W, et al. Contrast harmonic imaging ultrasound and perfusion imaging for surveillance after endovascular abdominal aneurysm repair regarding detection and characterization of suspected endoleaks. *Clin Hemorheol Microcirc*. 2009;43(1-2):119-128. doi:10.3233/CH-2009-1226.
68. Chaikof EL, Blankensteijn JD, Harris PL, et al. Reporting standards for endovascular aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg*. 2002;35(5):1048-1060. doi:10.1067/mva.2002.123763.
69. Wong DR, Coselli JS, Amerman K, et al. Delayed Spinal Cord Deficits After Thoracoabdominal Aortic Aneurysm Repair. *Ann Thorac Surg*. 2007;83(4):1345-1355. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.11.035.
70. Safi HJ, Miller CC, Carr C, Iliopoulos DC, Dorsay DA, Baldwin JC. Importance of intercostal artery reattachment during thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg*. 1998;27(1):58-66-8. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9474083>. Accessed November 30, 2015.
71. Zoli S, Etz CD, Roder F, et al. Experimental two-stage simulated repair of extensive thoracoabdominal aneurysms reduces paraplegia risk. *Ann Thorac Surg*. 2010;90(3):722-729. doi:10.1016/j.athoracsur.2010.04.047.
72. Etz CD, Zoli S, Mueller CS, et al. Staged repair significantly reduces paraplegia rate after extensive thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010;139(6):1464-1472. doi:10.1016/j.jtcvs.2010.02.037.
73. Harrison SC, Agu O, Harris PL, Ivancev K. Elective sac perfusion to reduce the risk of neurologic events following endovascular repair of thoracoabdominal aneurysms. *J Vasc Surg*. 2012;55(4):1202-1205. doi:10.1016/j.jvs.2011.10.079.
74. Lioupis C, Corriveau MM, MacKenzie KS, et al. Paraplegia prevention branches: A new adjunct for preventing or treating spinal cord injury after endovascular repair of thoracoabdominal aneurysms. *J Vasc Surg*. 2011;54(1):252-257. doi:10.1016/j.jvs.2010.11.131.
75. Reilly LM, Chuter TAM. *Reversal of Fortune: Induced Endoleak to Resolve Neurological Deficit after Endovascular Repair of Thoracoabdominal Aortic Aneurysm*. Journal of endovascular therapy : an official journal of the International Society of Endovascular Specialists 17, 21-29 (2010). doi:10.1583/09-2887.1.
76. Griep EB, Di Luo G, Schray D, Stefanovic A, Geisbüsch S, Griep RB. The anatomy of the spinal cord collateral circulation. *Ann Cardiothorac Surg*. 2012;1(3):350-357. doi:10.3978/j.issn.2225-319X.2012.09.03.

7. Danksagung

Ich möchte mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Kasprzak, Dr. med. Kopp und der gesamten Abteilung für Gefäßchirurgie am Universitätsklinikum Regensburg für Ihre freundliche Hilfe und Unterstützung bedanken.

8. Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der jeweiligen Quelle gekennzeichnet.

Insbesondere habe ich für das Verfassen dieser Arbeit nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- oder Beratungsdiensten in Anspruch genommen. Niemand hat von mir geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der hier vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.